



Magda Morais Viana

Licenciatura em Conservação e Restauro

**Conservação de rochas carbonatadas
submetidas a variações térmicas
súbitas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Conservação e Restauro

Orientador: Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio,
Professora, Instituto Superior Técnico da
Universidade de Lisboa

Co-orientador: Doutora Vera Lúcia Cordeiro Pires,
Coordenadora técnica, Frontwave –
Engenharia e Consultadoria, S.A.

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria João Seixas de Melo

Arguente: Prof. Doutora Zenaide Carvalho Gonçalves da Silva

Vogal: Prof. Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio



Magda Morais Viana

Licenciatura em Conservação e Restauro

**Conservação de rochas carbonatadas
submetidas a variações térmicas
súbitas**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Conservação e Restauro

Orientador: Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio,
Professora, Instituto Superior Técnico da
Universidade de Lisboa

Co-orientador: Doutora Vera Lúcia Cordeiro Pires,
Coordenadora técnica, Frontwave –
Engenharia e Consultadoria, S.A.

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria João Seixas de Melo

Arguente: Prof. Doutora Zenaide Carvalho Gonçalves da Silva

Vogal: Prof. Doutora Maria Amélia Alves Rangel Dionísio

Conservação de rochas carbonatadas submetidas a variações térmicas súbitas

Copyright © Magda Morais Viana, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de prestar a minha gratidão à Professora Doutora Amélia Dionísio e à Doutora Vera Pires pelo incentivo, apoio e disponibilidade prestados ao longo deste trabalho, à empresa *MASERC – Mármore Sérgio Coelho, Lda*, por ter concedido as amostras de calcário, à empresa *Frontwave – Engenharia e Consultadoria, S.A.* por ter possibilitado a utilização do seu espaço e equipamento assim como à equipa que muito amavelmente me recebeu, ao Centro de Petrologia e Geoquímica (CEPGIST) e ao Centro de Recursos Naturais e Ambiente (CERENA) do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, em especial ao Professor Doutor António Maurício pelo apoio concedido na utilização da câmara climática, ao Sr. Francisco Almeida pelas soluções técnicas inteligentes sem as quais determinados ensaios não teriam sido possíveis, à Professora Doutora Orquídea Neves, Professora Doutora Edite Martinho, Professor Doutor Manuel Francisco, Doutora Ana Miller pela disponibilidade, simpatia e boa disposição e ainda à Sr.^a Ana Maria Martins pela constante ajuda.

Por fim gostaria de agradecer aos meus pais, ao meu irmão e aos meus amigos, em especial à Tatiana e à Francisca, pelo apoio, conselhos e força. Obrigada por estarem sempre presentes e pela fé incondicional que têm em mim.

Resumo

O património cultural edificado em pedra é alvo de vários factores de degradação, de entre os quais, os incêndios. Estima-se que a nível europeu uma estrutura patrimonial edificada seja perdida diariamente como resultado deste agente degradativo. Desta forma a compreensão e a minimização dos seus efeitos é de extrema importância para a sua sustentabilidade. Procura-se na presente dissertação avaliar um possível método de conservação/consolidação de estruturas pétreas incendiadas e expostas às intempéries. Foi utilizado como material pétreo o calcário Lioz submetido inicialmente a altas temperaturas (600°C), choque térmico e envelhecimento acelerado por deposição gasosa de dióxido de enxofre, e depois consolidado com silicato de etilo e nanocal. Para avaliação da eficácia dos consolidantes foram efectuados, antes e após consolidação, testes físico-mecânicos. O dano térmico provocado no Lioz causou um aumento do volume de espaços vazios, uma alteração da cinética de absorção de água, um incremento da perda de material superficial e uma diminuição da resistência mecânica. Após consolidação, as propriedades físico-mecânicas do calcário foram parcialmente restabelecidas com uma diminuição da porosidade aberta, da absorção de água por capilaridade e da desagregação superficial e ainda um aumento da velocidade de propagação das ondas-p e da resistência mecânica à flexão. Dos dois consolidantes o que apresentou melhor resultado foi o silicato de etilo, no entanto estudos futuros serão necessários para avaliar a durabilidade do mesmo em calcários.

Palavras-chave: Calcário Lioz; Altas temperaturas; Eficácia consolidação; Nanocal; Silicato de etilo; Características físico-mecânicas.

Abstract

The built cultural heritage is subject to various degradation factors, among which, fires. It is estimated that one historical structure is lost daily as a result of this agent. Thus understanding and minimizing their effects is of utmost importance for cultural sustainability. The present dissertation seeks to evaluate a possible method of preservation/consolidation of burned stone structures exposed to weathering. The material select was a portugues limestone, initially subjected to high temperatures (600°C), thermal shock and accelerated aging by gas deposition of sulfur dioxide, and then consolidated with ethyl silicate and nanolime. Physical and mechanical characteristics were study before and after consolidation for the assessment of the consolidants. The thermal damage caused on the studied limestone The thermal damage caused in the studied limestone led to an increase in the volume of voids, a change in the kinetics of water uptake, an increase in loss of surface material and a decrease in mechanical strength. After consolidation, limestone physical and mechanical properties were partially restored with a decrease in open porosity, capillary water absorption and surface breakdown and also an increased of ultrasound velocity and flexural strength. Of the two consolidants ethyl silicate was the one that present the best results, however future studies are needed to evaluate its durability.

Keywords: Lioz limestone; High temperatures; Consolidation effectiveness; Nanolime; Ethyl silicate; Physical and mechanical characteristics.

Índice de conteúdos

Agradecimentos.	III
Resumo.	V
Abstract.	VII
Índice de conteúdos.	IX
Índice de figuras.	XI
Índice de tabelas.	XIII
Lista de abreviaturas, siglas e símbolos.	XV
1. INTRODUÇÃO.	1
1.1. Objectivos.	1
1.2. Degradação por efeito térmico.	2
1.2.1. Os efeitos das altas temperaturas sobre o material pétreo.	2
1.2.2. Calcinação.	3
1.3. Conservação pela aplicação de consolidantes.	3
1.3.1. Silicato de etilo.	4
1.3.2. Nanocal.	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS.	7
2.1. Calcário tipo Lioz.	7
2.2. Procedimento experimental.	8
2.3. Métodos analíticos.	10
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.	15
3.1. Caracterização macroscópica.	15
3.2. Caracterização colorimétrica.	17
3.3. Porosidade aberta.	18
3.4. Absorção de água por capilaridade.	20
3.5. Velocidade de propagação das ondas-p.	22
3.6. Resistência mecânica à flexão em momento constante ou em 4 pontos.	24
3.7. Resistência à desagregação superficial.	24

3.8. Microscopia electrónica de varrimento de emissão de campo (FESEM)	26
4. CONCLUSÕES.	29
REFERÊNCIAS.	31
ANEXO 1 – Ficha de produto: Tegovakon®.	35
ANEXO 2 – Ficha de produto: Nanorestore®.	39

Índice de figuras

Figura 2.1 - Calcário tipo Lioz: (A) provetes fornecidos pela empresa <i>MASERC</i> ; (B) Lioz da pedreira de Fervença pertencente à empresa <i>MASERC</i> (www.maserc.pt – consultado a 16-07-2015); (C) Lioz da pedreira de Lameiras pertencente à empresa <i>MASERC</i> (www.maserc.pt – consultado a 16-07-2015).	7
Figura 2.2 - Resumo experimental do trabalho laboratorial efectuado.	10
Figura 2.3 - Esquematização de um provete com os locais de medição da velocidade de propagação das ondas-p numerados de 1 a 25. A vermelho encontra-se identificada a face consolidada.	12
Figura 2.4 - Quadro representativo da carga aplicada nos provetes com respectiva legenda e detalhes necessários à avaliação da resistência à flexão.	13
Figura 2.5 - Diagrama de momento (Beer <i>et al</i> , 2001)	14
Figura 2.6 - Mapa das áreas seleccionadas para estudo da resistência á desagregação superficial, em que A = 2cm, B = 1cm e C = 0,5cm.	14
Figura 3.1 - Aspecto geral dos provetes: (A) Lioz são; (B) Lioz de referência (após choque e envelhecimento); (C) Lioz com Tegovakon® e (D) Lioz com Nanorestore®.	15
Figura 3.2 - Observação à lupa binocular dos provetes Lioz são (A) e dos provetes Lioz de referência (B): superfície (A1 e B1) e cavidade com cristais (A2 e B2).	16
Figura 3.3 - Observação à lupa binocular das extremidades brancas dos provetes de referência: (A) luz directa; (B) luz rasante; (C) pormenor à luz directa; (D) pormenor à luz rasante.	16
Figura 3.4 - Gráfico representativo da porosidade aberta para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.	19
Figura 3.5 - Gráfico representativo da porosidade aberta para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.	19
Figura 3.6 - Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz são e Lioz de referência.	20
Figura 3.7 - Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.	21
Figura 3.8 - Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.	21
Figura 3.9 - Gráfico representativo da velocidade de propagação das ondas-p para o Lioz são e Lioz de referência.	22
Figura 3.10 - Gráfico representativo da velocidade de propagação de ultrassons para o Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.	23
Figura 3.11 - Gráfico representativo da velocidade de propagação de ultrassons a para o Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.	23

Figura 3.12 - Gráfico representativo da flexão em momento constante para o Lioz são, Lioz de referência, Lioz com Tegovakon® e Lioz com Nanorestore®.	24
Figura 3.13 - Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz são e no Lioz de referência.	25
Figura 3.14 - Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz referência (sem Tegovakon®) e Lioz com Tegovakon®.	25
Figura 3.15 - Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz referência (sem Tegovakon®) e Lioz com Nanorestore®.	26
Figura 3.16 - Imagens obtidas por microscopia electrónica de varrimento: a) Lioz são; b) Lioz de referência; c) Lioz consolidado com Tegovakon®; d) Lioz consolidado com Nanorestore®.	27
Figura 3.17 - Espectro EDS do silicato de etilo identificado por FESEM na matriz rochosa. . .	27
Figura 4.1 - Quadro resumo com os resultados obtidos ao longo do estudo.	29

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Tabela com valores médios de produto consumido e de produto depositado.	9
Tabela 3.1 - Tabela resumo com os parâmetros de cor médios para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz consolidado.	18
Tabela 3.2 - Tabela resumo com variação dos parâmetros de cor e diferença total de cor (ΔE^*) para o Lioz de referência em relação ao Lioz são e para o Lioz consolidado relativamente ao Lioz de referência.	18

Lista de abreviaturas, siglas e símbolos

FCT-UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Lisboa

IST-UL – Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

CEPGIST – Centro de Petrologia e Geoquímica

CERENA – Centro de Recursos Naturais e Ambiente

FESEM-EDS – Microscopia eletrónica de varrimento de emissão de campo com espectroscopia de energias dispersivas de raios-X

EN – Procedimento normativo Europeu

TEOS – Tetraetilortosilicato

L^* – Luminosidade

a^* e b^* – Coordenadas de cor

ΔL^* – Variação de luminosidade

Δa^* e Δb^* – Variação das coordenadas de cor

L_0^* – Valor de luminosidade inicial

a_0^* e b_0^* – Coordenadas de cor iniciais

L_1^* – Valor de luminosidade final

a_1^* e b_1^* – Coordenadas de cor finais

ΔE^* – Diferença de cor total

m_d – Massa seca

m_h – Massa imersa

m_s – Massa saturada

P_0 – Porosidade aberta

V – Velocidade de propagação das ondas p

d – Distância percorrida pela onda ultrassónica

t – Tempo durante o qual a onda ultrassónica percorre uma determinada distância

M_{max} – Momento máximo de flexão

σ_m – Tensão no momento máximo de flexão

I – Momento de inercia

σ_{4p} – Tensão máxima

L_0 – Distância exterior entre cilindros

L_i – Distância interior entre cilindros

F – Célula de carga

b – Largura do provete

h – Altura do provete

L_s – Comprimento do provete

1. INTRODUÇÃO

1.1. Objectivos

O fogo enquanto agente de decaimento térmico é uma ameaça para o património edificado e sítios históricos. Estima-se que uma estrutura histórica é perdida todos os dias na União Europeia devido à ocorrência de incêndios (COST - C17, 2001). De acordo com o Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa (Plataforma digital do Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa), cerca de 17 incêndios afectaram no século XX, o património cultural de Lisboa. De entre estes destaca-se o Palácio Resende (13 de Janeiro de 1916), a Igreja de São Domingos (13 de Agosto de 1959), o Teatro Nacional D. Maria II (1 de Dezembro de 1964), a Faculdade de Ciências (17 de Março 1978) e os Grandes Armazéns do Chiado (25 de Agosto de 1988). Distintamente do que é assumido para outros materiais, no que toca à pedra natural tem-se a falsa crença de que este material tudo suporta e a tudo resiste. A pedra natural é um dos mais importantes materiais tradicionalmente utilizados na construção e ornamentação, possuindo portanto um cariz artístico intencional, uma vez que quando aplicado é escolhido pelas suas características específicas, como a cor e a textura. Tal como se observa nos outros materiais, qualquer tipo de alteração, quer físico-química, quer estética (cromática), resultante da interação do material pétreo com o ambiente (incluindo fogo) pode conduzir a uma desvalorização artística e cultural por detrimento das mensagens essenciais do objectivo arquitectónico.

Quando um edifício é incendiado o material danificado sofre não só as consequências da sua exposição súbita a altas temperaturas, mas também da acção, apesar de preventiva, dos bombeiros (tipo e quantidade dos produtos utilizados). De entre estes produtos destaca-se a acção da água. Esta por se encontrar à temperatura ambiente quando aspergida sobre o edifício durante a extinção do incêndio diminui bruscamente a temperatura das superfícies alterando o material pétreo por choque térmico. Acresce a estas alterações o facto de o património também ser exposto posteriormente à acção dos agentes externos como vento, calor, frio, humidade, poluição, entre outros. Desta forma, quando é avaliado o estado de degradação de pedras naturais que sofreram a acção de um incêndio é necessário ter em conta o seu estado é o resultado da acção conjunta de diversos agentes, para além do efeito térmico. Os agentes de degradação agem sinergicamente com os efeitos de decaimento por altas temperaturas, pelo que as características por si só podem não revelar o processo que deu origem ao estado de degradação do material pétreo (Gómez-Heras *et al* 2006a) (Franzoni *et al*, 2013).

O conhecimento sobre o impacto de incêndios nas estruturas e materiais de construção tradicionais, em termos de redução de capacidade resistente, da integridade estrutural e a alteração estética é essencial não só para tomar medidas de segurança, mas também para proteger e conservar o património, planeando e promovendo acções de conservação e

restauro, determinando custos e tempos de trabalhos (Ozguven & Ozcelik, 2013) (Dionísio, 2007).

Face a este panorama, foi desenvolvido o presente estudo com o intuito de identificar uma possível forma de conservação/consolidação de pedra natural exposta a altas temperaturas, baixas temperaturas e a agentes de alteração externos. Trata-se portanto de um material pétreo altamente danificado e em risco de perda total. Desta forma, foram selecionados dois produtos consolidantes comerciais, o silicato de etilo (Tegovakon®) e a nanocal (Nanorestore®), a serem aplicados em amostras de calcário tipo lioz sujeito laboratorialmente a altas temperaturas, seguido de choque térmico brusco e envelhecimento acelerado por deposição gasosa de dióxido de enxofre. As características físico-mecânicas do material pétreo foram avaliadas antes e depois da aplicação dos produtos consolidantes com o objectivo de verificar a sua eficácia enquanto agentes de consolidação.

1.2. Degradação por efeito térmico

O dano térmico provocado pelo calor ocorre através de dois mecanismos principais, nomeadamente a degradação por oscilação cíclica de temperatura e o choque térmico por altas temperaturas. A degradação por oscilação cíclica de temperatura está associada aos ciclos de aquecimento e arrefecimento diários e sazonais (Gómez-Heras *et al*, 2006c). Os danos provocados por este mecanismo fazem-se sentir a longo prazo por efeitos de fadiga térmica. O choque térmico por altas temperaturas desenvolve-se por acção do fogo, um evento singular de alteração térmica brusca, que proporciona efeitos rápidos e na maior parte dos casos o dano provocado torna-se irreversível num curto prazo de tempo (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Gómez-Heras *et al*, 2006c).

Apesar de ambos os fenómenos conduzirem à fractura e ao destacamento de espessas placas por fenómenos termoplásticos, a tipologia e a extensão dos danos causados vão depender das temperaturas atingidas e em grande parte da tipologia do material pétreo afectado (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Gómez-Heras *et al*, 2006b) (Pires *et al*, 2014).

1.2.1. Os efeitos das altas temperaturas sobre o material pétreo

Quando o material pétreo é sujeito a altas temperaturas, são criados fortes gradientes térmicos entre a superfície exposta e as zonas mais internas, originando expansões lineares e volumétricas (Yavuz *et al*, 2010). Dependendo da condutividade térmica da pedra, dos coeficientes de expansão dos seus minerais constituintes, da capacidade de absorção de calor dos diferentes minerais, das propriedades intrínsecas da pedra (porosidade, tamanho de grão, geometria dos limites de grão e microfissuras pré-existent) e da forma, orientação e estrutura dos grãos, as microtensões geradas podem, de acordo com Dionísio *et al* (2012), provocar os seguintes danos: (i) lascagem ao longo dos limites das áreas aquecidas e arrefecidas, à medida que a tensão provocada se torna máxima ao longo da linha de maior gradiente térmico, (ii) lascagem e exfoliação de contorno, resultante da tensão de corte desenvolvida quando as tensões compressivas na camada superficial da pedra excedem a sua resistência mecânica à

compressão, (iii) desintegração granular quando a variação térmica excede o limite elástico dos diferentes minerais e a força de coesão entre grãos, (iv) ocorrência de microfissuras ou até de fracturas induzidas pela expansão linear e volumétrica diferencial de elementos que se encontrem confinados. Em determinados casos, consoante a composição mineralógica das pedras e da temperatura a que são expostas, os seus parâmetros colorimétricos alteram-se irreversivelmente (Ozguven & Ozcelik, 2013). Esta alteração cromática encontra-se associada à alteração de algumas fases mineralógicas após aquecimento, como é o caso dos minerais argilosos e dos óxidos-hidróxidos de ferro (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007).

1.2.2. Calcinação

Durante um incêndio e na presença de pedras de composição carbonatada, quando a temperatura circundante a este material pétreo atinge ou ultrapassa um determinado limite (aproximadamente 600°C) ocorre a sua calcinação. A temperatura a partir da qual se dá a decomposição do carbonato difere de autor para autor, sendo que para Ozguven & Ozcelik (2013) este fenómeno ocorre entre 800°C-1000°C, mas para Dionísio *et al* (2012) e Gómez-Heras *et al* (2006a) a calcinação inicia-se a 600°C e segundo Yavuz *et al* (2010) a 900°C.

Durante a calcinação o carbonato de cálcio (CaCO_3), por acção térmica, é convertido em óxido de cálcio (CaO). Este óxido é extremamente reactivo com a água, pelo que quando é aspergida água pelo corpo de bombeiros durante a extinção de um incêndio, estes reagem conduzindo à formação de calor por reacção exotérmica, com libertação de vapor de água e formação de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) (Ozguven & Ozcelik, 2013).

1.3. Conservação pela aplicação de consolidantes

A conservação do material pétreo envolve a diminuição dos efeitos provocados pelos agentes de alteração (temperatura, humidade, poluição, etc.) através de vários tipos de intervenções, desde a limpeza, consolidação, até à aplicação de hidrofugantes (Pamplona, 2008). A consolidação é uma das acções de conservação vastamente aplicada em património cultural pétreo cujo objectivo é restaurar a coesão do material pela introdução de um composto capaz de formar ligações entre grãos ou um filme contínuo consolidante (Rosario *et al*, 2015) (El-Gohary, 2015) (Snethlage, 2011) (Karatasiós *et al*, 2009) (Cnudde *et al*, 2004).

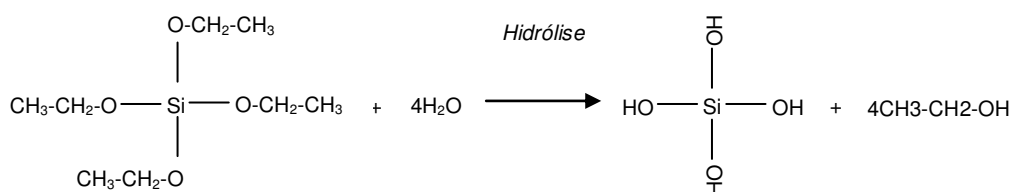
Um bom produto consolidante deve, segundo Cnudde *et al* (2004), apresentar certos requisitos referentes a durabilidade, profundidade de penetração, efeito na porosidade da pedra, efeito sobre a transferência de humidade, compatibilidade com a pedra e efeito na aparência. Deste modo, o consolidante deve ser compatível com a pedra a tratar em termos de cor, absorção de água, transmissão de vapor de água e expansão térmica, sem que depois de aplicado a superfície consolidada apresente maior coesão do que a superfície não consolidada, porque caso contrário com a exposição a ciclos contínuos de molhagem e secagem a tensão provocada poderá ocorrer o destacamento da superfície consolidada (Snethlage, 2011).

Posto isto, para alcançar uma boa consolidação é necessário um estudo prévio do material consolidante, no que diz respeito à compatibilidade com o substracto pétreo, assim como um estudo prévio das propriedades do material pétreo a consolidar, uma vez que as propriedades físicas, químicas e mecânicas variam consoante a pedra, influenciando o processo de consolidação (El-Gohary, 2015) (Cnudde *et al*, 2007) (Cnudde *et al*, 2004). Deste modo é possível afirmar que não existe um consolidante universal para toda a pedra natural, uma vez que as características intrínsecas do material pétreo diferem de pedra para pedra (Cnudde *et al*, 2004).

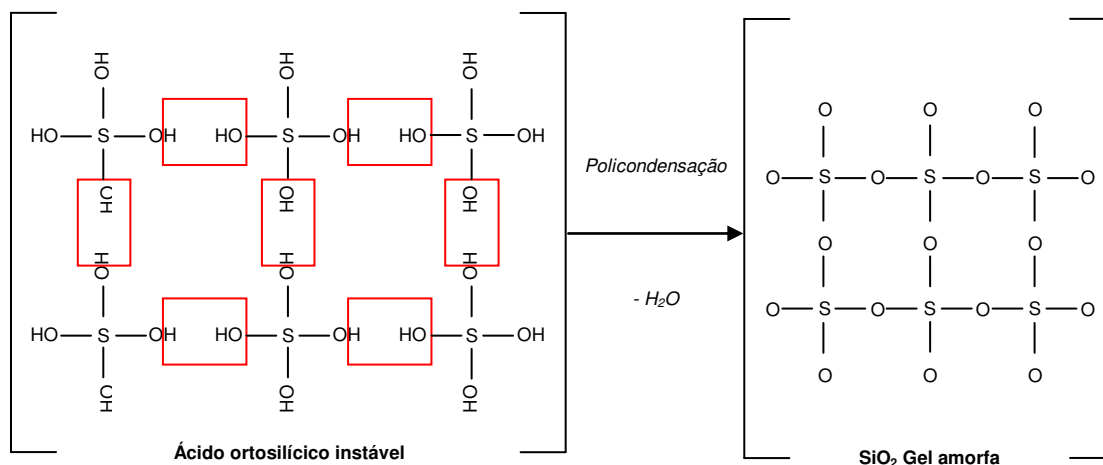
1.3.1. Silicato de etilo

O silicato de etilo, também conhecido como tetraetilortosilicato (TEOS), é um composto químico preparado a partir de tetracloreto de silício por reação numa mistura de etanol com água para formar TEOS monoméricos ou oligoméricos (Pamplona, 2008). Este químico é dos produtos mais utilizados na conservação de pedra natural, particularmente na consolidação de arenitos e granitos (Snethlage, 2011). O modo de actuação resulta do contacto com a água, proveniente da humidade atmosférica ou da rede porosa, que conduz à sua polimerização no interior da pedra sob a forma de sílica gel amorfa (Cnudde *et al*, 2004). É este gel formado que permite a ligação entre os espaços vazios do material e que faz do silicato de etilo um consolidante útil em pedra (Snethlage, 2011). De acordo com Snethlage (2011) e Pamplona (2008) a formação da sílica gel no espaço poroso ocorre segundo dois processos: a hidrólise dos grupos alcoxi separando as moléculas de etanol, na presença em solução de um catalisador ácido ou base (Reacção 1) e a condensação do silanois (Si–OH) instáveis formando uma rede de sílica gel amorfa que interage com os componentes minerais da pedra (Reacção 2). Refira-se que o tipo de gel obtido irá depender do tipo de catalisador utilizado, da temperatura e da humidade a quando da sua aplicação (Snethlage, 2011).

As vantagens deste produto residem no alto conteúdo de SiO₂, na quantidade de sílica gel formada por unidade volumétrica de consolidante, na inexistência de produtos secundários tóxicos e na evaporação total do etanol resultante (Snethlage, 2011).



Reacção 1

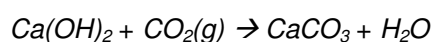


Reacção 2

1.3.2. Nanocal

Um material de conservação em ascensão na consolidação de pedra é a dispersão alcoólica de nanopartículas de hidróxido de cálcio, a chamada nanocal (Rodríguez-Navarro *et al*, 2013). A consolidação pelo uso de partículas Ca(OH)_2 com dimensões submicrométricas (tamanho inferior a 100nm) foi introduzida em conservação do património para reduzir as limitações dos tratamentos tradicionais à base de cal (água de cal e leite de cal), nomeadamente incompleta conversão de hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio conduzindo à deposição de partículas livres na superfície, alteração cromática da superfície devido à baixa solubilidade da cal em água e reduzida capacidade de penetração (Daniele *et al*, 2008) (Daniele & Taglieri, 2010) (Rodríguez-Navarro *et al*, 2013).

O modo de actuação deste consolidante resulta da formação de carbonato de cálcio na rede porosa do material pétreo pela reacção do hidróxido de cálcio com o dióxido de carbono presente na atmosfera (Reacção 3) (Karatasiós *et al*, 2009). A baixa solubilidade do agente consolidante obtido e a sua compatibilidade química e estrutural com os substratos inorgânicos é vantajoso no tratamento do calcário tipo Lioz. (Daniele & Tagliere, 2010) (Rodríguez-Navarro *et al*, 2013).



Reacção 3

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Calcário tipo *Lioz*

Ao longo dos tempos granitos, mármore e calcários têm sido os materiais de eleição na construção, revestimento e ornamentação de edifícios históricos. De entre os calcários, destaca-se em Portugal o calcário Lioz, que é um material pétreo de excelência muito empregue em Portugal e exportado para muitos outros países (Silva, 2007) (Aires-Barros, 2001). O Lioz é uma rocha com excelentes propriedades físicas e mecânicas que lhe conferem beleza, e durabilidade, podendo ser contemplado em monumentos nacionais como o Arco Triunfal da Rua Augusta, Aqueduto das Águas Livres, Teatro de São Carlos, Igreja de São Roque, Palácio Nacional da Ajuda, Mosteiro dos Jerónimos, entre outros (Silva, 2007) (Aires-Barros, 2001). Por se ter tornado numa marca da capital e ter sido afectado por vários incêndios ao longo dos anos, o Lioz, calcário foi o material pétreo escolhido para este estudo (Figura 2.1). Provetes com as dimensões 150x30x30mm de dimensão em Lioz foram fornecidos pela empresa *MASERC – Mármore Sérgio Coelho, Lda*, conhecida por ter actividade em duas pedreiras de calcário Lioz, em Fervença e em Lameiras, na freguesia de Pêro Pinheiro, Concelho de Sintra.

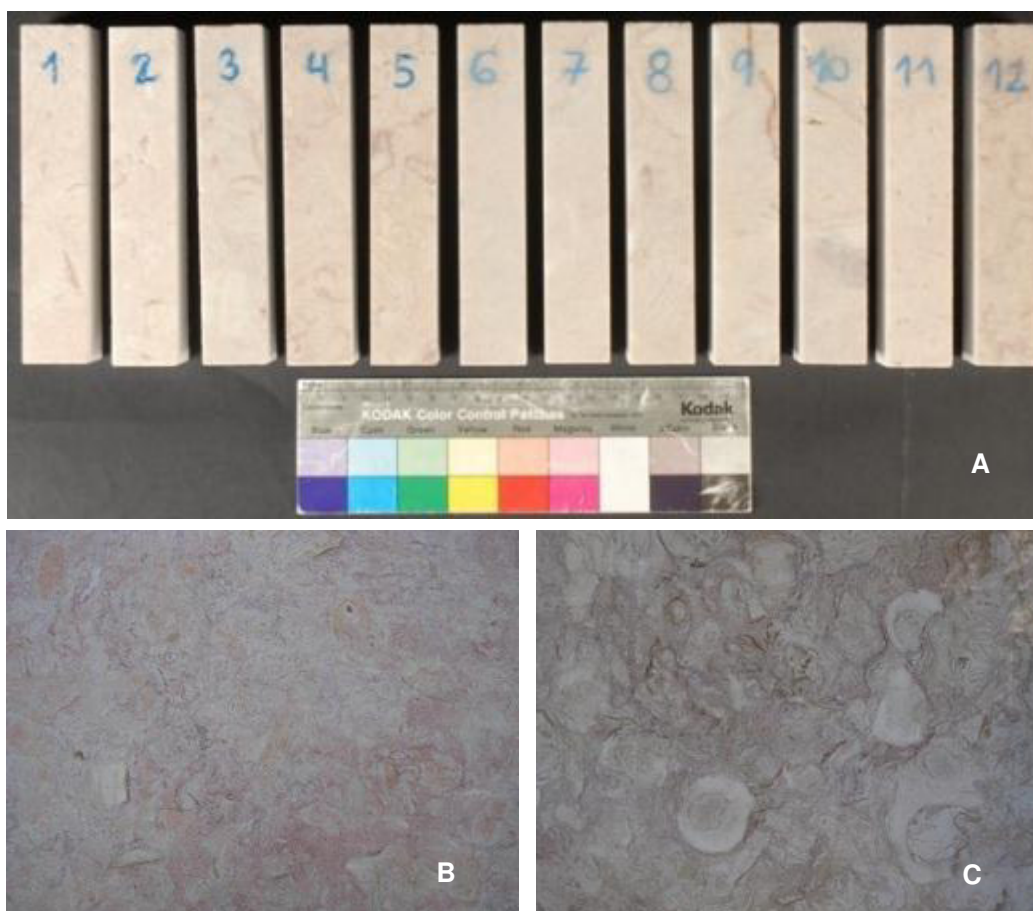


Figura 2.1 – Calcário tipo Lioz: (A) provetes fornecidos pela empresa *MASERC*; (B) Lioz da pedreira de Fervença pertencente à empresa *MASERC* (www.maserc.pt – consultado a 16-07-2015); (C) Lioz da pedreira de Lameiras pertencente à empresa *MASERC* (www.maserc.pt – consultado a 16-07-2015).

O Lioz é um calcário cretácico do Cenomaniano-Turoniano bioclástico e calciclástico geralmente é branco, no entanto, também pode possuir tonalidades de rosa-claro a rosa-escuro, vermelho-rosa, cinza, dourado, e por vezes um tom amarelo queimado (Silva, 2007). As diferentes texturas, colorações, conteúdos fossilíferos são reflexo das diferentes condições geológicas de cada tipo de ambiente de formação, assim como são determinantes das propriedades físico-mecânicas, embora a origem sedimentar marinha, a composição química carbonatada e a composição mineralógica calcítica (carbonato de cálcio) sejam comuns entre todos os tipos de Lioz (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Silva, 2007) (Aires-Barros, 2001). Esta rocha microcristalina compacta, rica em biosparite e microsparite (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Silva, 2007) (Aires-Barros, 2001)., apresenta uma tonalidade bege com manchas e veios rosados e pontuais fissuras ao longo dos veios ou em torno de estilólitos. A sua textura heterogénea é resultante da presença de fósseis, rudistas constituídos por calcite fibrosa, por toda a superfície (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Silva, 2007) (Aires-Barros, 2001). Esta variedade de calcário apresenta um elevado conteúdo de calcite, aproximadamente 99%. Os componentes secundários são vestigiais, normalmente só estão presentes em minerais acessórios, principalmente óxidos-oxihidróxidos de ferro ou minerais argilosos (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007). Normalmente esta pedra apresenta baixa porosidade (< 0.40%) e baixa capacidade de absorção de água (< 0.15%); a sua compressão uniaxial e resistência à flexão podem ser consideradas como médias a altas, > 1000kg.cm⁻² e > 200 kg.cm⁻², respectivamente (Plataforma digital das Rochas Ornamentais Portuguesas)

2.2. Procedimento experimental

Para avaliar os efeitos das altas temperaturas sofridos durante um incêndio, 50 provetes de calcário Lioz foram submetidos a um aquecimento numa mufla Ehret ($t_{máx}$: 1100°C) em ambiente oxidante, adaptando a metodologia do estudo apresentado por Pires (2013). Num primeiro passo a temperatura foi aumentada, em 4h, até 600°C, e depois foi mantida constante durante 20h. Dado que um fogo urbano pode atingir facilmente 600°C, esta temperatura foi estabelecida como “temperatura de estudo” com o objectivo de uma possível comparação dos efeitos do aquecimento com casos reais (Dionísio *et al*, 2012) (Dionísio, 2007) (Gómez-Heras *et al*, 2006a) (Ozguven & Ozcelik, 2013). Passadas as 24h, para facilitar a remoção dos provetes do interior da mufla, foi diminuída a temperatura até os 200°C em 4h. Apesar da diminuição de temperatura até 200°C não ocorrer numa situação real, uma vez que a acção dos bombeiros em momento de incêndio é praticamente imediata, esta foi necessária para segurança na remoção dos provetes do interior da mufla. Após atingir essa temperatura,

Os provetes foram removidos da mufla e imediatamente arrefecidos por completa imersão em água à temperatura ambiente (20±5)°C, onde permaneceram durante aproximadamente 6 horas (±0,5h). Este procedimento de ensaio foi adaptado da Norma Europeia EN 14066, para determinação da resistência ao envelhecimento por choque térmico.

Habitualmente a intervenção de conservação e restauro num edifício incendiado não é realizada imediatamente após a sua ocorrência, pelo que o edifício fica exposto a agentes de alteração externos, em especial ao enxofre presente na atmosfera proveniente da queima de combustível fóssil dos automóveis. Desta forma, com o objectivo de simular esta exposição, os provetes foram posteriormente submetidos a um envelhecimento acelerado numa câmara de climatização, com controlo de temperatura e humidade relativa num ambiente rico em SO₂. Depois de secos na estufa a 60±5°C, até massa constante ser atingida, foram colocados na câmara climática Aralab Fitoclima 300 EDTU numa atmosfera constante de 10ppm de dióxido de enxofre (SO₂). A câmara foi programada para um ciclo de 12h: primeiras 6h à temperatura 60±5°C e humidade relativa 30±5%; últimas 6h a (20±5°C e 95±5% de humidade relativa. No total foram realizados 42 ciclos. Os parâmetros estabelecidos para este ensaio foram adaptados do estudo de Pires (2013) e de Simão (2003), no entanto o número de ciclos foi determinado segundo o procedimento normativo EN 13919.

Para avaliar a eficácia inicial de uma possível intervenção em património danificado por altas temperaturas, dois agentes consolidantes comerciais em solução, Tegovakon® e Nanorestore®, que foram aplicados por capilaridade durante 24h. A determinação da quantidade de produto aplicado foi efectuada, pela diferença de massa dos provetes imediatamente antes e após a sua aplicação. A quantidade de matéria absorvida e matéria seca obtida foram determinadas pela diferença da massa seca e da massa imediatamente após aplicação dos consolidantes e da massa após o período de cura/carbonatação (no caso da nanocal), respectivamente (Tabela 2.1). Um resumo experimental é apresentado na Figura 2.2.

Tabela 2.1 – Tabela com valores médios de produto consumido e de produto depositado.

	Quantidade absorvida (kg/m²)	Matéria seca obtida (%)	n
Lioz com Tegovakon®	0,436 ± 0,319	0,389 ± 0,065	11
Lioz com Nanorestore®	0,212 ± 0,068	0,006 ± 0,005	11

n – número de provetes analisados

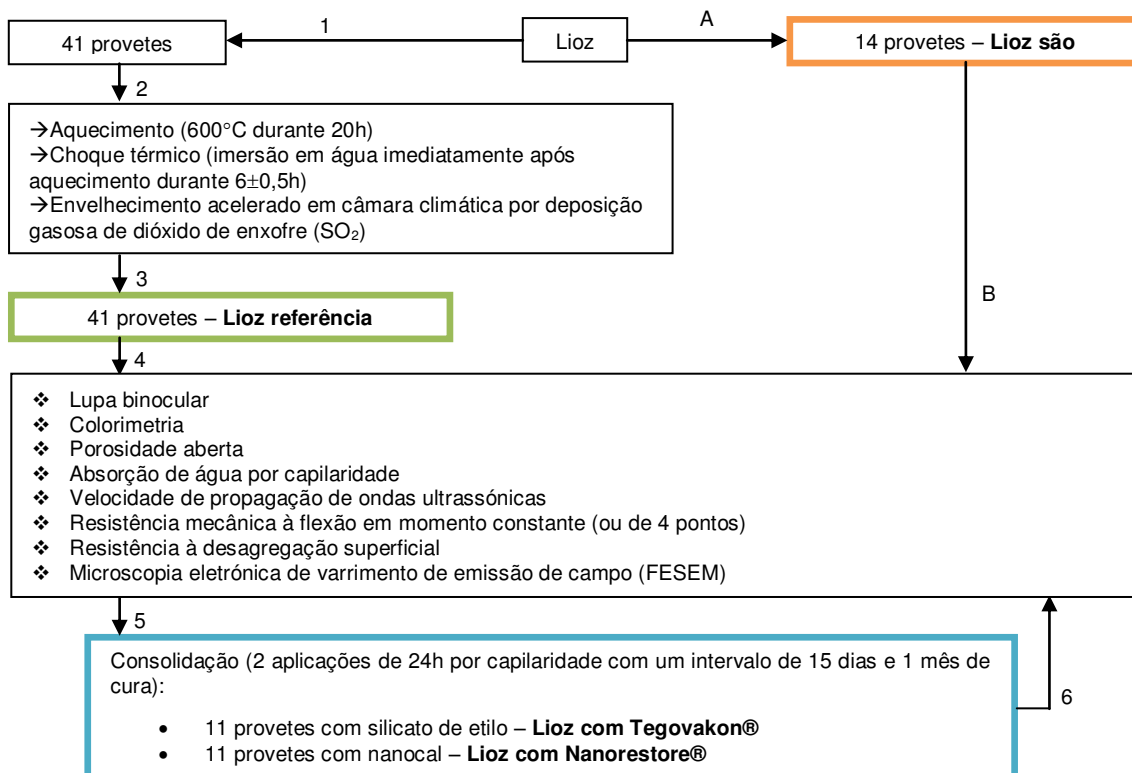


Figura 2.2 – Resumo experimental do trabalho laboratorial efectuado.

2.3. Métodos analíticos

Para avaliar possíveis modificações estéticas (cor), físicas e mecânicas no calcário Lioz consolidado após aquecimento, súbito choque térmico e envelhecimento acelerado, vários ensaios foram conduzidos nos seguintes conjuntos: Lioz são (amostras não sujeitas a qualquer envelhecimento), Lioz de referência (calcário exposto ao choque térmico e envelhecido), Lioz consolidado com Tegovakon® e Lioz consolidado com Nanorestore®.

A caracterização de cor foi realizada utilizando um espectrofotómetro portátil MINOLTA, modelo CM508i, com um sistema de iluminação difusa e um ângulo de observação de 8° sobre a normal à amostra em estudo (geometria d/8). A área de medição é de aproximadamente 8mm. Foram realizadas 8 medições em cada provete, duas em cada face com exceção da face polida (o brilho interfere com a quantificação), sendo cada medição a média de 3 leituras. Foi utilizando o observador normalizado CIE 2° e o iluminante D₆₅ (representa a luz média diurna incluindo a radiação ultravioleta com temperatura de cor correlacionada 6504K). Para quantificar a cor foram utilizadas as coordenadas cromáticas no sistema colorimétrico de referência CIE 1931, no espaço cromático uniforme CIE 1976 (CIELAB). O parâmetro L^* é referente à luminosidade e varia de 0 preto a 100 branco. Já os parâmetros a^* e b^* são coordenadas de cor: $+a^*$ é vermelho, $-a^*$ é verde, $+b^*$ é amarelo e $-b^*$ é azul. As diferenças de cor podem ser determinadas por $\Delta L^* = L_1^* - L_0^*$, $\Delta a^* = a_1^* - a_0^*$ e $\Delta b^* = b_1^* - b_0^*$, em que L_1^* , a_1^* e b_1^* são os valores finais e L_0^* , a_0^* e b_0^* são os valores originais. Estes três parâmetros são

representados em três eixos ortogonais num sistema de coordenadas cartesiano. A diferença de cor total, determinada por $\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$, indica a magnitude da diferença na cor.

A porosidade aberta foi determinada de acordo com o procedimento definido pelo procedimento normativo EN 1936. Todo o ensaio foi conduzido à temperatura ambiente (24 ± 1)°C e com humidade relativa (50 ± 5)%. Depois de secos na estufa a (60 ± 5)°C até massa constante e arrefecidos, os provetes foram pesados (m_d) e em seguida colocados em vácuo no dessecador. A pressão foi gradualmente diminuída até atingir ($2,0 \pm 0,7$)kPa. Após (24 ± 2)h em vácuo, água destilada foi introduzida no dessecador até total imersão dos provetes. A pressão de ($2,0 \pm 0,7$)kPa foi mantida durante esta fase por mais (24 ± 2)h. No final deste período a pressão no dessecador foi aumentada até à pressão atmosférica e os provetes permaneceram imersos por mais (24 ± 2)h. No final, foi determinada a massa imersa (m_h) e saturada (m_s) dos provetes. A porosidade aberta, P_o , foi determinada de acordo com a seguinte equação (Equação 1):

$$P_o = \frac{m_s - m_d}{m_s - m_h} \times 100$$

Equação 1

Para determinação do coeficiente de absorção por capilaridade ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5}$) foi seguido o procedimento normativo EN1925. Durante o ensaio foi mantida a temperatura ambiente (24 ± 1)°C e a humidade relativa (50 ± 5)%. Os provetes foram previamente secos na estufa a (60 ± 5)°C até massa constante e posteriormente arrefecidos e pesados. De seguida, os provetes foram imersos em água destilada com (3 ± 1)mm de altura, mantendo a área imersa constante ao longo do ensaio. No decorrer do ensaio foi feito um controlo de massas dos provetes, inicialmente, num curto espaço de tempo: 1, 3, 5, 10, 15, 30 e 60 minutos, alargando progressivamente o intervalo das medições. O ensaio terminou ao fim de 8 dias. Os coeficientes de absorção de água por capilaridade foram obtidos a partir do ajuste dos pontos experimentais na parte inicial do gráfico massa em função do tempo.

A velocidade de propagação das ondas-p foi obtida através da transmissão de ondas ultrassónicas conduzidas pelo modelo portátil STEINKAMP BP-7. Depois de secos na estufa a (60 ± 5)°C até a massa constante ser atingida, os provetes foram arrefecidos e duas sondas, transmissor e receptor, foram colocadas em contacto directo com a pedra, em superfícies opostas. As medições foram feitas longitudinalmente e transversalmente, encontrando-se representado na Figura 2.3 o esquema dos locais onde as medições foram efectuadas. A velocidade (m/s) foi calculada pela fórmula (Equação 2):

$$V = \frac{d}{t}$$

Equação 2

Em que V é a velocidade; d a distância que a onda ultrassónica percorre, neste caso a largura do provete (30mm); e t o tempo que a onda ultrassónica demora a percorrer essa distancia, expresso pelo equipamento em μS . No total efetuaram-se 25 medições por provete.

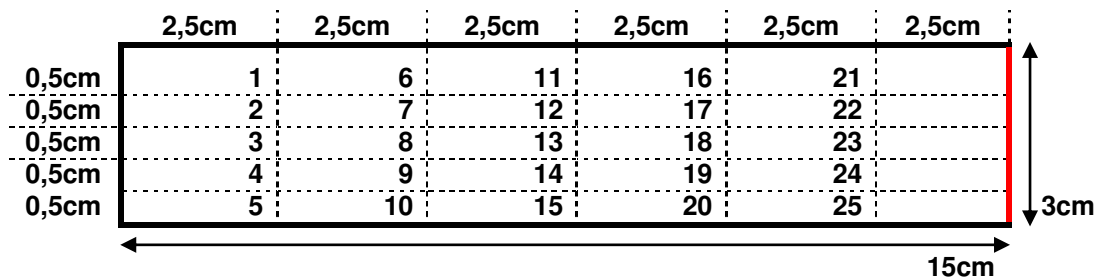


Figura 2.3 – Esquematização de um provete com os locais de medição da velocidade de propagação das ondas-p numerados de 1 a 25. A vermelho encontra-se identificada a face consolidada.

A avaliação da resistência mecânica à flexão em momento constante ou de 4 pontos foi conduzida de acordo com o procedimento apresentado na Norma Europeia EN 13161 recorrendo a um equipamento Instron 5566 com 10kN de carga, e uma a uma velocidade de deslocamento constante de 0,5mm/min. Os provetes foram posicionados sobre dois cilindros, localizados simetricamente perto dos terminais das amostras – cilindros exteriores, e a carga foi aplicada por outros dois cilindros simétricos, posicionados sobre os provetes – cilindros interiores, limitando a porção do momento de flexão constante (Figura 2.4). “A determinação da resistência à flexão da pedra é naturalmente determinada pela resistência nas zonas tracionadas dos provetes de ensaios” (Camposinhos, 2009). Durante o procedimento a pedra assume condições elásticas até certo momento aquando da sua rutura - momento máximo de flexão (M_{max}). O teste de 4 pontos assegura um momento constante ao longo do comprimento dos provetes entre os cilindros interiores.

A tensão no momento máximo de flexão (σ_m) pode ser obtida de acordo com a Equação 3 em que M_{max} representa o momento máximo de flexão; h a altura do provete e I o momento de inercia calculado pela Equação 4, onde b é a largura do provete.

$$\sigma_m = \frac{M_{max} h}{2 I}$$

Equação 3

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Equação 4

O momento máximo de flexão é obtido pela Equação 5, em que $L_0 - L_i$ é a distância entre os cilindros sobre os quais os provetes estão assentes (Figura 2.4). Este momento ocorre ao longo da área L_i , desta forma existe maior probabilidade de encontrar um defeito neste intervalo que pode levar à fractura (Figura 2.5).

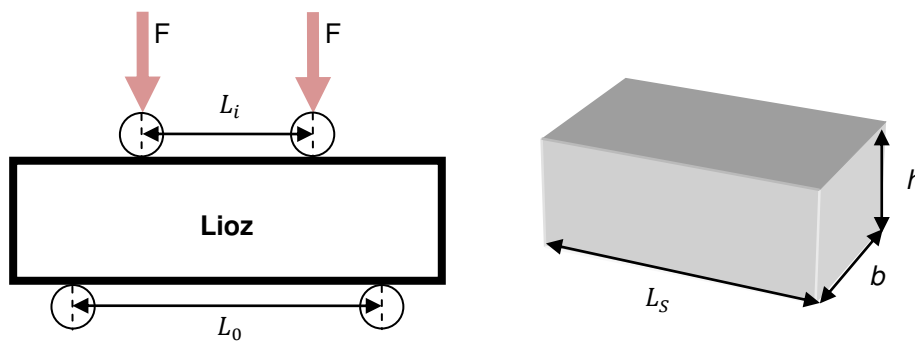
$$M_{max} = \frac{F(L_0 - L_i)}{2}$$

Equação 5

A tensão máxima (σ_{4p}) pode ser estimada segundo a Equação 6.

$$\sigma_{4p} = \frac{3F(L_0 - L_i)}{bh^2}$$

Equação 6



L_0	Distância exterior entre cilindros	120 mm
L_i	Distância interior entre cilindros	60 mm
F	Célula de carga	10 kN
b	Largura do provete	30 mm
h	Altura do provete	30 mm
L_s	Comprimento do provete	150 mm

Figura 2.4 – Quadro representativo da carga aplicada nos provetes com respectiva legenda e detalhes necessários à avaliação da resistência à flexão.

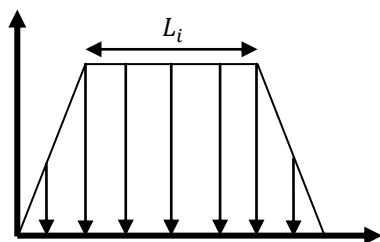


Figura 2.5 – Diagrama de momento (Beer *et al*, 2001).

A resistência à desagregação superficial foi determinada utilizando a metodologia proposta por Drdácý *et al* (2012). Para tal foi utilizada fita adesiva *Scotch® Crystal Clear Tape* de 19mm de largura. Após selecção das áreas, 5 fitas adesivas com 3cm foram aplicadas em 10 zonas diferentes de duas superfícies opostas (Figura 2.6). Depois de levemente alisadas com o dedo, as fitas adesivas foram removidas e determinada a sua massa numa balança com sensibilidade de 0,0001g.

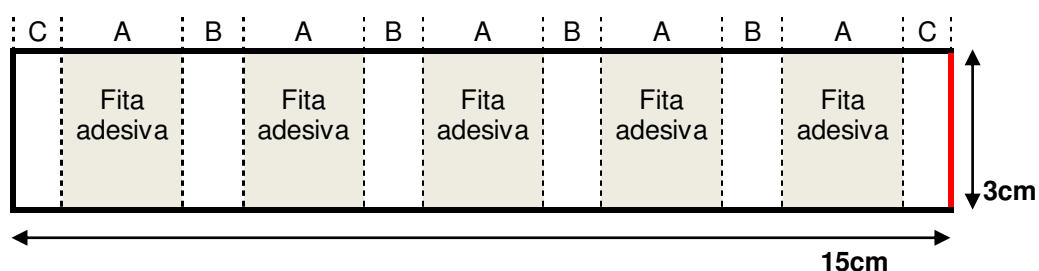


Figura 2.6 – Mapa das áreas selecionadas para estudo da resistência á desagregação superficial, em que A = 2cm, B = 1cm e C = 0,5cm.

Para um estudo mais detalhado das estruturas de porosidade da rocha e da sua alteração pela utilização dos consolidantes foi aplicada a técnica de microscopia eletrónica de varrimento de emissão de campo (FESEM) com espectroscopia de energias dispersivas de raios-X (EDS) acoplado para análise química utilizando raios-X secundários e padrões de correções ZAF que permitem microanálise semi-quantitativa da composição dos elementos minerais das amostras. Nesta técnica foi utilizado um microscópio JEOL 7001F com detector Oxford de energias dispersivas de elementos leves. As amostras foram revestidas por um fino filme condutor de ouro e paládio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização macroscópica

Após dano térmico e envelhecimento laboratorial acelerado, as diferenças visuais no Lioz são notáveis. A alteração de cor para uma tonalidade mais cinza, o aparecimento de manchas brancas e a alteração dos veios rosados para vermelhos-alaranjados é marcante quando comparado o Lioz de referência para o Lioz são (Figura 3.1). Contudo ainda é possível identificar as pontuais manchas rosadas e cavidades com cristais (Figuras 3.2).

O tom cinza obtido foi a alteração mais marcante. Segundo Yavuz *et al* (2010) as rochas carbonatadas depois de submetidas a altas temperaturas adquirem uma tonalidade cinzenta como consequência do alastrar do material orgânico fossilífero fundido ao longo dos limites de grão. Apesar de todo o conjunto de Lioz sujeito ao dano térmico e envelhecimento acelerado tenha sofrido uma alteração de cor, o conjunto demonstra-se heterogêneo. Os 41 provetes de Lioz foram aquecidos no mesmo equipamento e nas mesmas condições, no entanto em determinados provetes as extremidades alteraram para brancas, adquirindo um aspecto leitoso e textura lisa, assim como destacamentos, lascagens e lacunas. Possivelmente este fenômeno estará relacionado com o início da decomposição do carbonato – calcinação devido à posição dos provetes no interior da mufla. É provável que os provetes colocados mais próximo das paredes da mufla tenham alcançado 600°C mais rapidamente do que aqueles que ficaram no centro do equipamento (Figura 3.3).

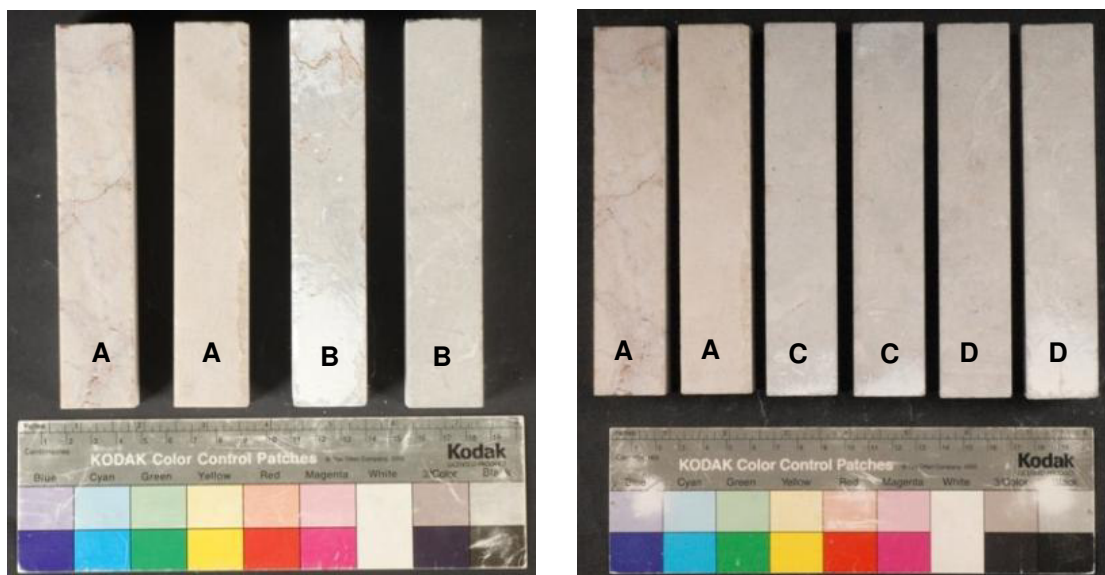


Figura 3.1 – Aspecto geral dos provetes: (A) Lioz são; (B) Lioz de referência (após choque e envelhecimento); (C) Lioz com Tegovakon® e (D) Lioz com Nanorestore®.

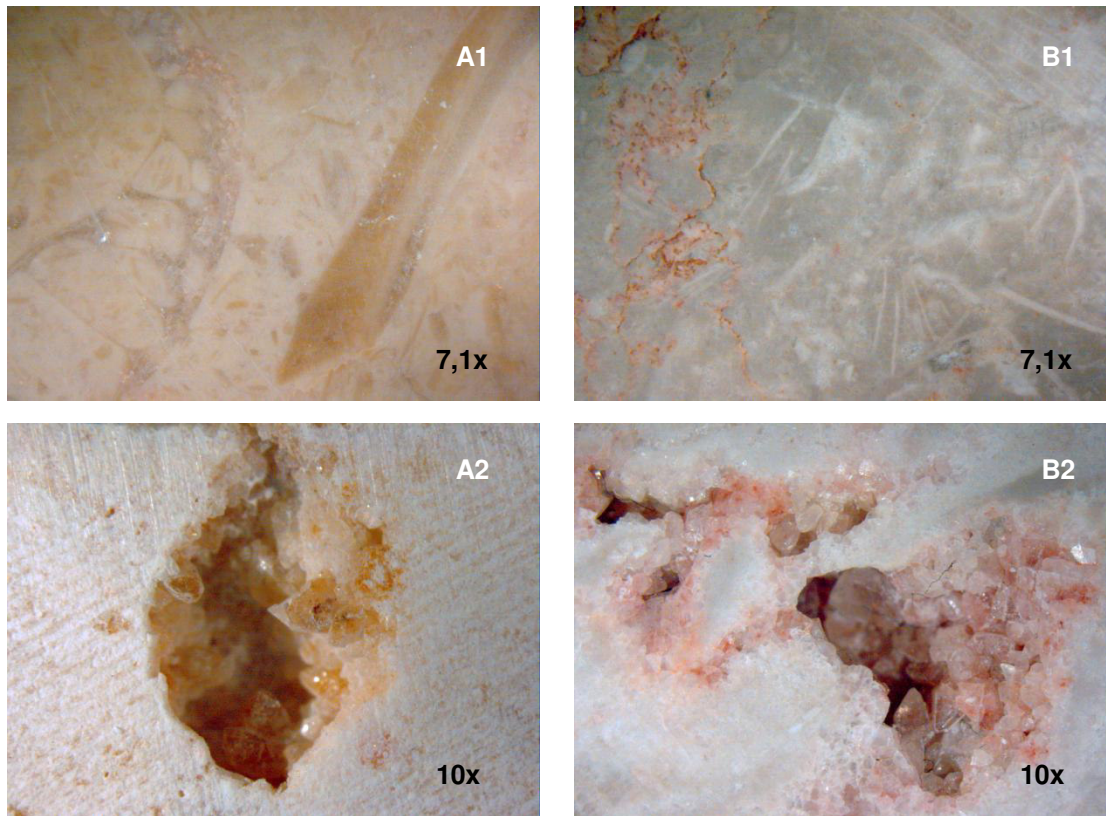


Figura 3.2 – Observação à lupa binocular dos provetes Lioz são (A) e dos provetes Lioz de referência (B): superfície (A1 e B1) e cavidade com cristais (A2 e B2).

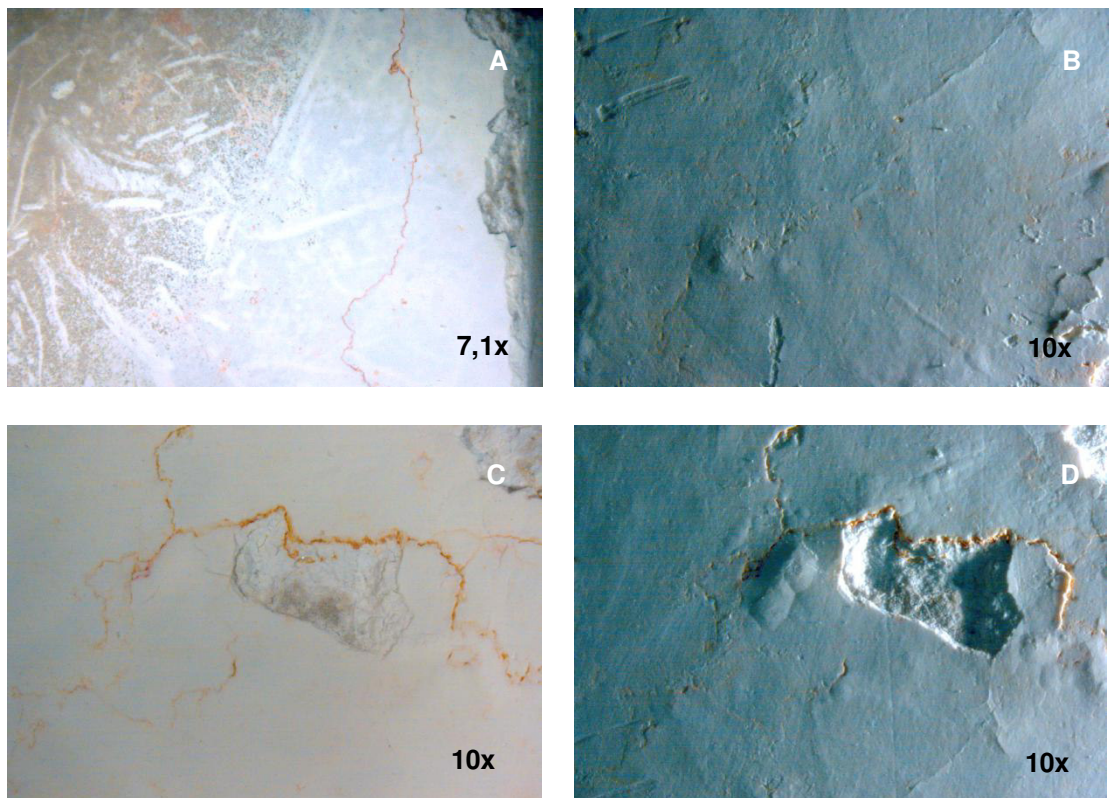


Figura 3.3 – Observação à lupa binocular das extremidades brancas dos provetes de referência: (A) luz directa; (B) luz rasante; (C) pormenor à luz directa; (D) pormenor à luz rasante.

Para além do descrito anteriormente, uma outra alteração perceptível macroscopicamente foi a formação de novas fissuras, fracturas e ainda desenvolvimento de fissuras pré-existentes. Estes fenómenos de rotura, muito provavelmente relacionados com a expansão anisotrópica da calcite, tornam-se pontos de grande fragilidade que comprometem a integridade física da pedra (Yavuz *et al*, 2010).

Depois da consolidação, macroscopicamente não se observa grandes alterações comparativamente ao que foi observado após choque térmico e envelhecimento acelerado por exposição a SO₂. As alterações de cor não foram registadas, no entanto ao nível das extremidades que durante a consolidação ficaram em contacto directo com o consolidante, identificou-se uma diminuição do número de destacamentos e no caso dos provetes consolidado com Nanorestore®, um ganho de coesão evidente ao toque indo ao encontro dos estudos de Dei & Salvadori (2006).

3.2. Caracterização colorimétrica

Pela análise colorimétrica é possível afirmar que o dano térmico por altas temperaturas aliado ao choque térmico por baixas temperaturas e envelhecimento acelerado modifica a cor do Lioz (Tabela 3.1 e Tabela 3.2). A variação de cor obtida para o Lioz de referência é explícita na diferença média total de cor com ΔE^* de 62,91. De acordo com os valores obtidos (Tabela 3.1 e Tabela 3.2), esta variação de cor é resultante da alteração dos parâmetros de cor, ΔL^* , Δa^* e Δb^* para valores positivos, ou seja, é conseqüente de um aumento de luminosidade e ganho de cor vermelho e amarelo. Estes resultados vão ao encontro do estudo Ozguven & Ozcelik (2013) em que foi identificado ao aquecer rochas carbonatadas entre 400°C e 600°C um aumento das cores vermelho e amarelo com valores de Δa^* e Δb^* positivos. Segundo estes autores e Dionísio (2007) esta alteração advém de alteração dos argilosos e óxidos-oxihidróxidos de ferro presentes na matriz da pedra. Apesar do calcário Lioz ser maioritariamente constituído por calcite, possui, ainda que em baixa quantidade, componentes secundários argilosos e à base de ferro que depois do aquecimento terão oxidado e dado origem a uma alteração de cor dos veios da pedra e à formação de manchas rosadas.

Contrariamente ao Lioz de referência, a alteração cromática nos conjuntos de Lioz consolidado não é visível, no entanto é identificada pela diminuição acentuada da diferença total de cor ΔE^* (Tabela 3.2). A alteração de cor é marcada, quer no Lioz com Tegovakon® quer com o Nanorestore®, por valores ΔL^* e Δb^* negativos (Tabela 3.2), o que se traduz num Lioz mais escuro e azul. Contudo, é de salientar novamente que esta modificação estética da pedra não é reconhecível pelo olho humano uma vez que a diferença total de cor para ambos os conjuntos é inferior a 5, limite a partir do qual a alteração de cor é reconhecível. Deste modo a alteração cromática produzida pela introdução de um produto consolidante não é significativa.

Tabela 3.1 – Tabela resumo com os parâmetros de cor médios para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz consolidado.

	L*	a*	b*	n
Lioz são	23,84 ± 3,32	-5,81 ± 0,70	-20,99 ± 4,38	14
Lioz de referência	85,27 ± 4,22	0,12 ± 0,36	0,75 ± 1,30	22
Lioz com Tegovakon®	81,94 ± 4,55	0,29 ± 0,44	0,46 ± 1,63	11
Lioz com Nanorestore®	82,20 ± 18,13	0,19 ± 0,31	0,31 ± 1,40	11

n – número de provetes analisados

Tabela 3.2 – Tabela resumo com variação dos parâmetros de cor e diferença total de cor (ΔE^*) para o Lioz de referência em relação ao Lioz são e para o Lioz consolidado relativamente ao Lioz de referência.

	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*	n
Lioz referência	58,59 ± 2,31	6,04 ± 0,37	22,11 ± 1,12	62,91	22
Lioz com Tegovakon®	-3,37 ± 3,40	0,26 ± 0,19	-0,94 ± 0,31	3,96 ± 3,10	11
Lioz com Nanorestore®	-2,84 ± 1,34	0,21 ± 0,04	-0,74 ± 0,42	3,69 ± 3,20	11

n – número de provetes analisados

3.3. Porosidade aberta

A porosidade é uma das características físicas mais importantes nos materiais pétreos. Esta propriedade pode ser definida como a percentagem de volume dos vazios existentes numa rocha, sendo que, nas rochas sedimentares está relacionada com os poros que normalmente surgem como vazios no cimento calcítico e/ou dentro dos estilólitos, fósseis ou outros sedimentos (Yavuz *et al*, 2010) (Pires, 2013). Desta forma, a porosidade aberta determina não só as propriedades de transporte mas também a tensão material das pedras (Yavuz *et al*, 2010) (Pires, 2013), ambas características extremamente importantes na avaliação do dano térmico.

O calcário estudado de acordo com os valores obtidos possui, em média, 1,13% de porosidade aberta, o que faz desta pedra um material muito compacto. Depois de aquecido, bruscamente arrefecido e envelhecido, o Lioz demonstrou um aumento significativo do volume de espaços vazios, alcançando-se valores três vezes superiores aos obtidos para o Lioz são (Figura 3.4 e Figura 3.5). Esta alteração por acção térmica e envelhecimento era espectável, uma vez que de acordo com a bibliografia (Gómez-Heras *et al*, 2006a) (Gómez-Heras *et al*, 2004) (Ozguven & Ozcelik, 2013) (Yavuz *et al*, 2010), após aquecimento o material pétreo sofre um aumento de porosidade, pelo que, em pedras compactas e com menor porosidade ocorre um maior incremento. Este fenómeno sucede, porque não existindo na pedra espaço inter-

granular capaz de suportar a expansão térmica dos grãos, o aumento de volume dos mesmos irá forçar o aumento da porosidade aberta (Gómez-Heras *et al*, 2006a) (Yavuz *et al*, 2010). Este aumento da porosidade por ação térmica tem especial importância no contexto do decaimento pétreo, uma vez que, não só aumenta a probabilidade de incidência de processos relacionados com água, como também aumenta a probabilidade de decaimento por rutura física.

Com a consolidação, o Lioz termicamente danificado e envelhecido apresenta uma diminuição de porosidade, especialmente significativa no caso do silicato de etilo, (Tegovakon®). Segundo os resultados obtidos (Figura 3.4 e Figura 3.5) com a sua utilização houve uma redução de 13% da porosidade aberta e com Nanorestore® ocorreu uma redução de aproximadamente 7%.

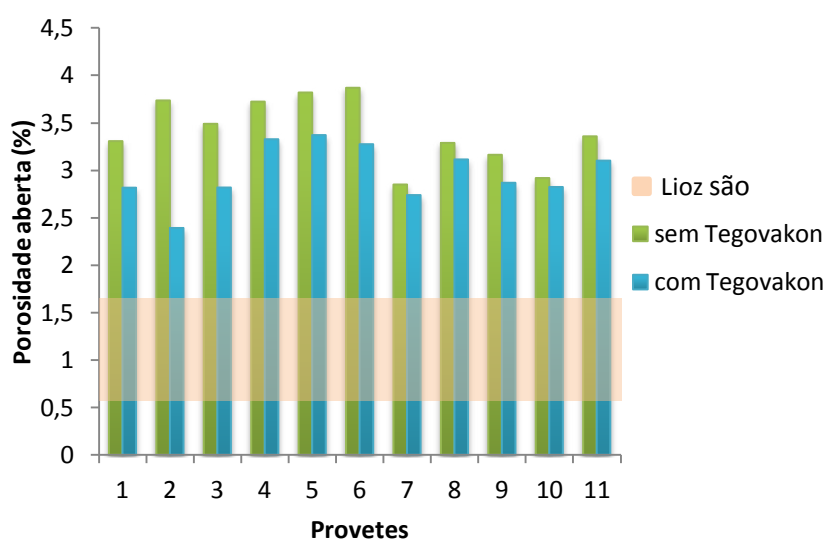


Figura 3.4 – Gráfico representativo da porosidade aberta para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.

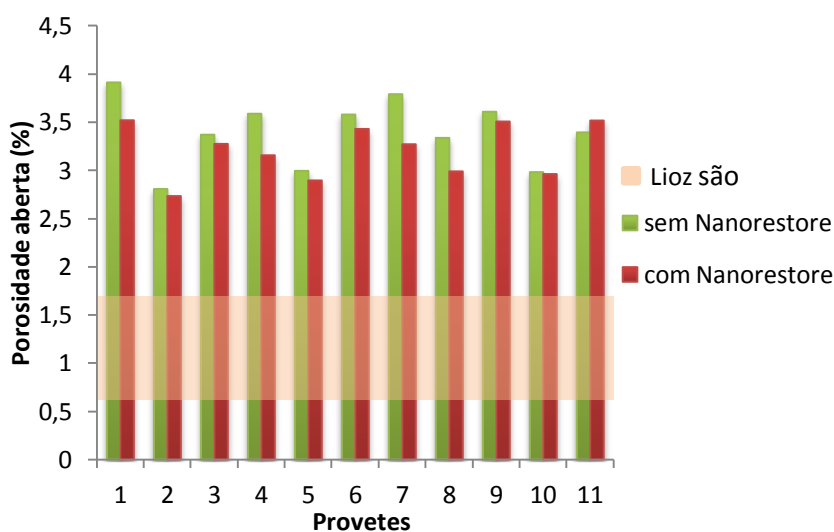


Figura 3.5 – Gráfico representativo da porosidade aberta para o Lioz são, Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.

3.4. Absorção de água por capilaridade

Para além da porosidade aberta, também a cinética de absorção de água é uma característica a ser avaliada para uma melhor compreensão da dinâmica interna do material pétreo após contacto com altas temperaturas. Segundo os valores obtidos (Figura 3.6) a cinética de absorção é significativamente afectada com o dano térmico e envelhecimento, sendo que o Lioz de referência apresenta uma capacidade de absorção de água por capilaridade aproximadamente dez vezes superior ao Lioz são. Esta observação assim como o aumento da porosidade aberta vão ao encontro dos estudos de autores como Gómez-Heras *et al* (2006a) e Yavuz *et al* (2010) onde é identificado um aumento da porosidade e da absorção capilar consequentes do desenvolvimento de fissuras pré-existentes e formação de novas fissuras quando material pétreo é exposto as altas temperaturas

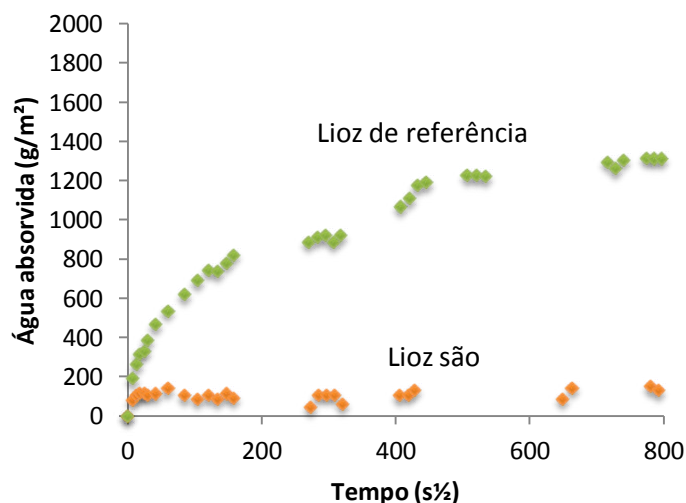


Figura3.6 – Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz são e Lioz de referência.

Quando o Lioz danificado por acção térmica e envelhecimento acelerado é consolidado, a cinética de absorção de água por capilaridade sofre uma modificação. Com ambos os consolidantes o Lioz evidencia uma redução da capacidade de absorção capilar no entanto esta alteração é mais acentuada no Lioz consolidado com Tegovakon® (Figura 3.7) com uma diminuição de aproximadamente de 75% enquanto que no Lioz com Nanorestore® (Figura 3.8) a diminuição registada foi aproximadamente de 21%.No entanto os valores registados são ainda muito superiores aos evidenciados pelo Lioz antes de aquecimento e envelhecimento.

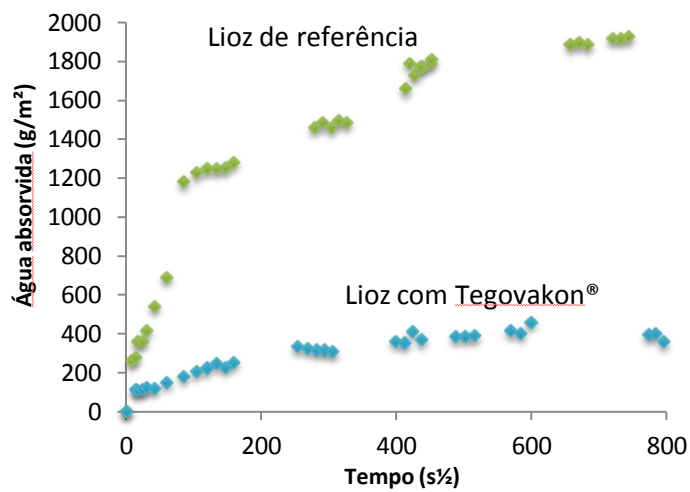


Figura 3.7 – Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.

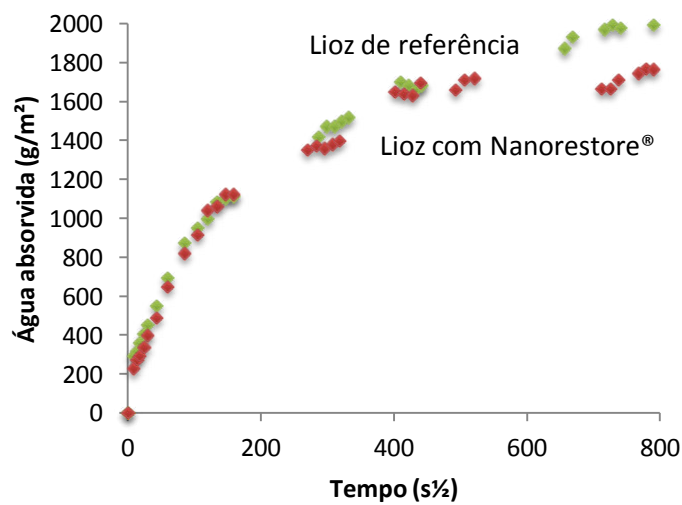


Figura 3.8 - Gráfico representativo da absorção de água por capilaridade para o Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.

3.5. Velocidade de propagação das ondas-p

De acordo com os estudos de Yavuz *et al* (2010) e Obojes *et al* (2006) com o aumento da temperatura ocorre uma diminuição da velocidade ultrassónica, principalmente em pedras compactas e de baixa porosidade, sendo que a alteração da velocidade de propagação das ondas-p é semelhante à da alteração da porosidade. Ao avaliar os valores obtidos para o Lioz danificado (Figura 3.9), este demonstra uma diminuição da velocidade de propagação de ondas-p de aproximadamente 54%. Visto o Lioz ser uma pedra compacta e com baixa porosidade (aproximadamente 1,13% de porosidade aberta), era espectável a redução de tensão material pelo aumento de espaços vazios identificada pelo aumento da porosidade aberta, da absorção de água por capilaridade e diminuição da velocidade de propagação da ondas-p.

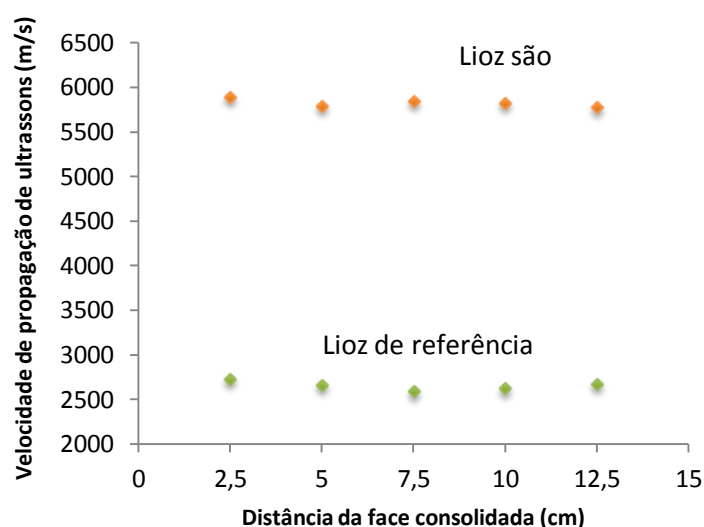


Figura 3.9 – Gráfico representativo da velocidade de propagação das ondas-p para o Lioz são e Lioz de referência.

Contrariamente à alteração observada depois do dano térmico e envelhecimento acelerado, o Lioz consolidado devido ao aumento de compactação evidenciou um aumento da velocidade de propagação das ondas-p. Apesar de ter sido identificado um aumento em ambos os conjuntos de Lioz consolidado, novamente o Lioz com Tegovakon® demonstra um aumento mais acentuado de aproximadamente 9% (Figura 3.10) em relação ao o Lioz com Nanorestore® que apresenta um incremento de aproximadamente 6% (Figura 3.11). Inclusivamente no Figura 3.10 é possível observar que até 5cm de distância da face consolidada a presença do consolidante se faz sentir por valores de velocidade elevados. A partir dos 5cm esses valores começam a diminuir. Deste modo, possivelmente poderá ser afirmado a presença do silicato de etilo até sensivelmente 5cm da face consolidada. O mesmo não é observado no Figura 3.11 referente à nanocal, em que directamente a partir dos 2,5cm se observa uma diminuição dos valores de velocidade, sendo possível fazer a observação de que o consolidante se limitou a ter uma acção superficial.

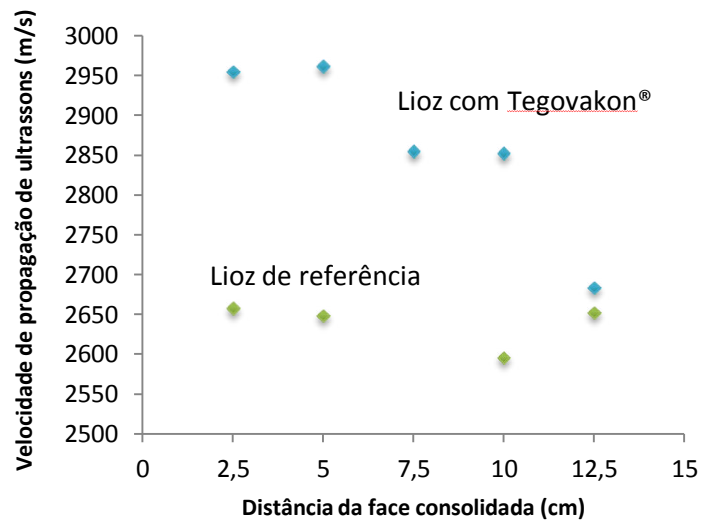


Figura 3.10 - Gráfico representativo da velocidade de propagação de ultrassons para o Lioz de referência e Lioz com Tegovakon®.

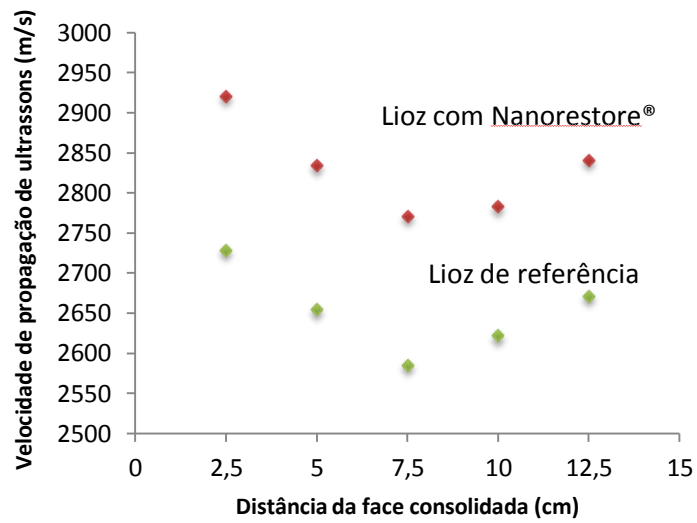


Figura 3.11 - Gráfico representativo da velocidade de propagação de ultrassons a para o Lioz de referência e Lioz com Nanorestore®.

3.6. Resistência mecânica à flexão em momento constante ou em 4 pontos

Após o aumento da porosidade aberta e diminuição da velocidade de propagação das ondas-p, os resultados obtidos para o Lioz danificado foram ao encontro do espectável com uma diminuição acentuada da resistência mecânica à flexão consequente da diminuição de compactação da pedra identificada pelo aumento da porosidade aberta e diminuição da velocidade de propagação das ondas-p. O decréscimo da resistência à flexão do Lioz são para o Lioz de referência foi de aproximadamente 71% (Figura 3.12).

Quando o Lioz após dano térmico é consolidado ocorre um aumento da resistência mecânica à flexão. Dos dois consolidantes o Lioz com Nanorestore® apresentou um incremento de 22%, valor superior ao Lioz com Tegovakon® que só aumentou 8% a resistência mecânica (Figura 3.12).

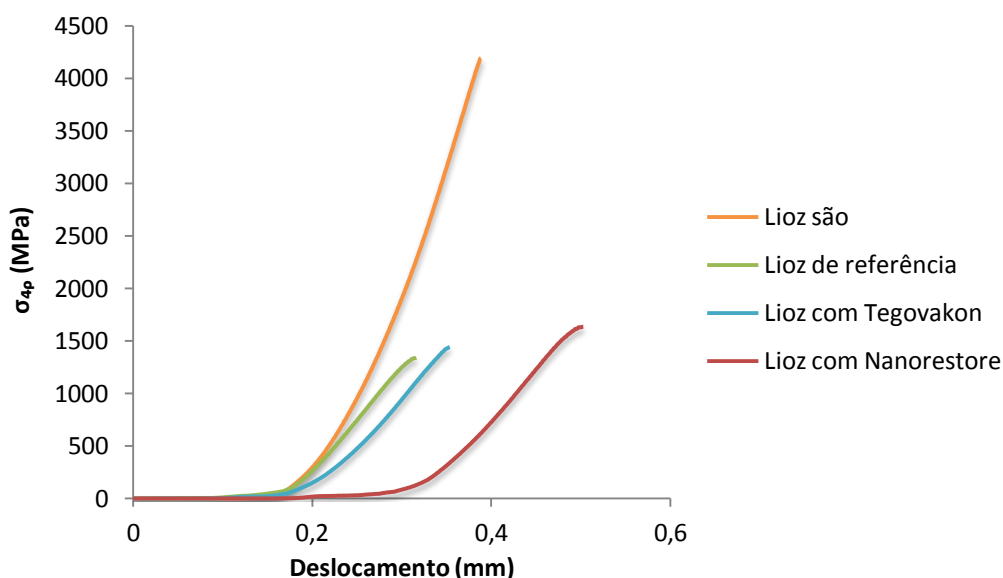


Figura 3.12 – Gráfico representativo da flexão em momento constante para o Lioz são, Lioz de referência, Lioz com Tegovakon® e Lioz com Nanorestore®.

3.7. Resistência à desagregação superficial

Com a exposição a altas temperaturas, choque térmico e envelhecimento acelerado, a perda de material superficial deste calcário foi incrementada. Conforme os resultados obtidos (Figura 3.13) o Lioz de referência demonstra um aumento de aproximadamente 2% em relação ao Lioz são. Tenha-se em atenção que em alguns provetes se observou queda imediata de material superficial após o choque térmico, o que de alguma forma não foi contabilizado no ensaio de desagregação.

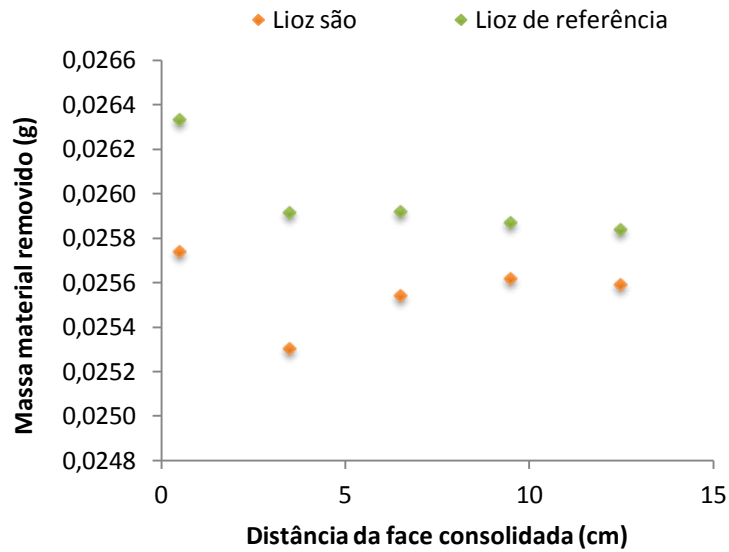


Figura 3.13 – Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz são e no Lioz de referência.

Com a consolidação e conseqüente aumento da compactação superficial do Lioz, a perda de material superficial diminui, aproximadamente 4% para o Lioz com Tegovakon® (Figura 3.14) e 1% para o Lioz com Nanorestore® (Figura 3.15). Este resultado vai ao encontro dos resultados anteriores que possibilitam um aumento de coesão da pedra com a aplicação do consolidante.

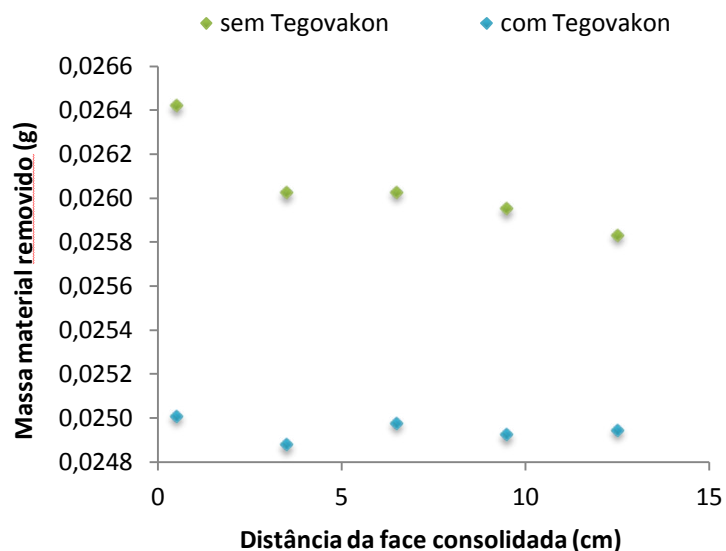


Figura 3.14 – Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz referência (sem Tegovakon®) e Lioz com Tegovakon®.

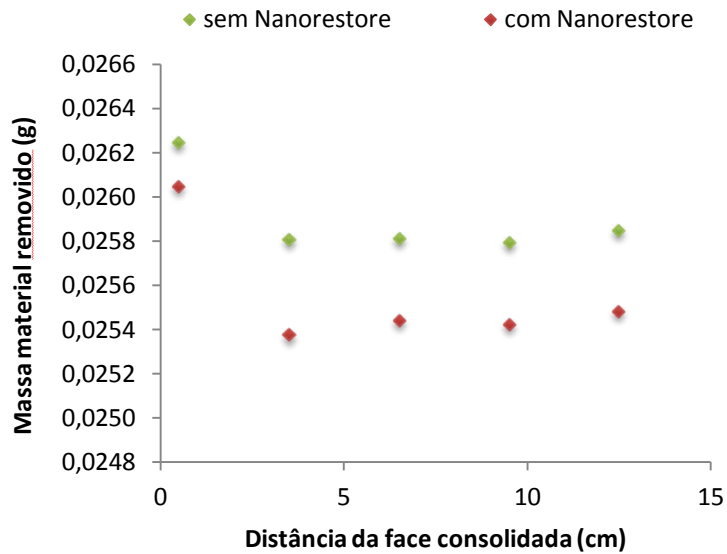


Figura 3.15 – Gráfico representativo da quantidade de material removido no Lioz referência (sem Nanorestore®) e Lioz com Nanorestore®.

3.8. Microscopia eletrónica de varrimento de emissão de campo (FESEM)

O FESEM foi utilizado como técnica complementar com o intuito de obter um maior conhecimento do estado pétreo depois do dano originado pela variação térmica e envelhecimento acelerado e ainda para verificar a presença dos consolidantes no interior da pedra. Posto isto, através desta técnica analítica foi possível identificar um maior número de fissuras no Lioz de referência e possibilitou igualmente a identificação de um filme heterogéneo no interior da pedra consolidada com Tegovakon® (Figura 3.16). Como foi referido anteriormente o desenvolvimento de fissuras pré-existentes e formação de novas fissuras são uma das consequências das altas temperaturas (Dionísio *et al*, 2012) (Yavuz *et al*, 2010).

A composição do filme foi confirmada por espectroscopia de energias dispersivas de raios-X (Figura 3.17). A morfologia do filme de sílica identificado vai ao encontro do observado nos estudos de Pamplona (2008). Não foi possível por FESEM identificar a presença de Nanorestore®, dado a similitude que apresenta face à matriz pétreo. Tal não significa que o consolidante se encontra ausente, uma vez que os resultados de métodos de exame anteriores demonstram a sua presença. Tal pode dever-se ao facto de que, após carbonatação, a nanocal origina carbonato de cálcio, composto idêntico à matriz do Lioz (Karatasios *et al*, 2009).

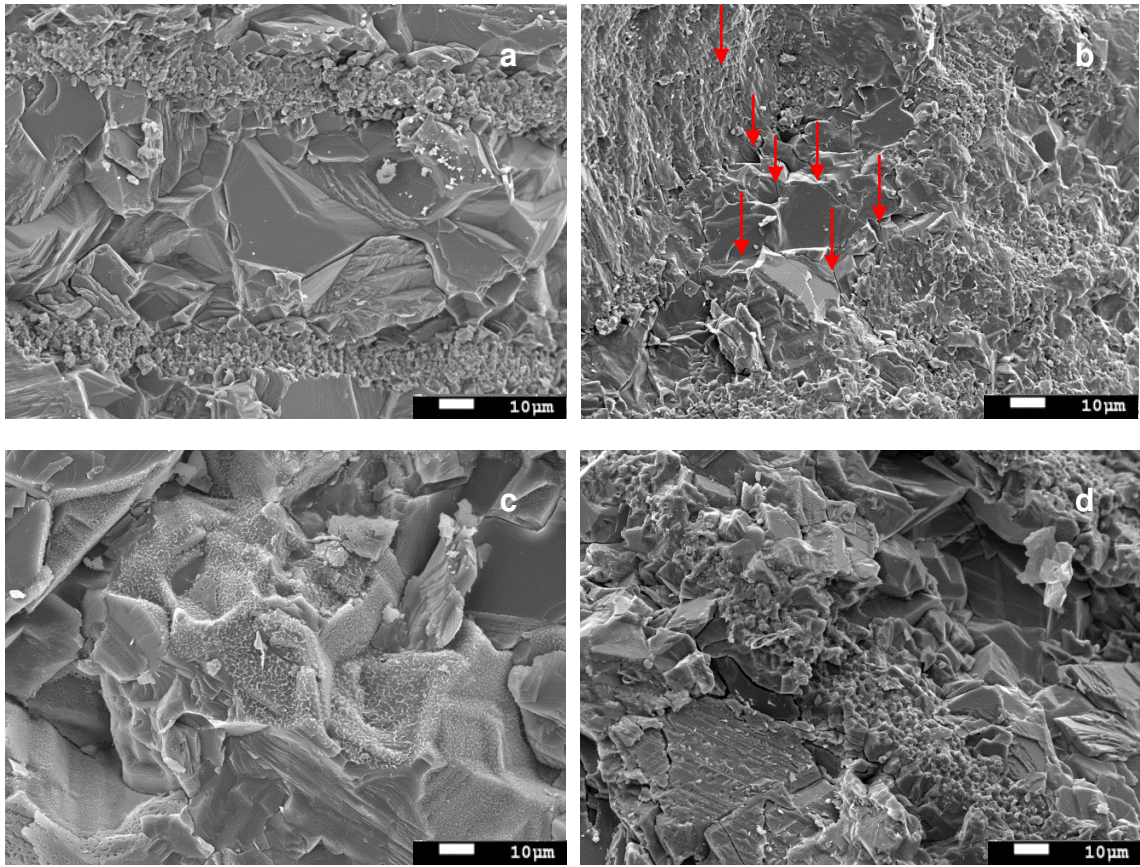


Figura 3.16 – Imagens obtidas por microscopia electrónica de varrimento: a) Lioz são; b) Lioz de referência; c) Lioz consolidado com Tegovakon®; d) Lioz consolidado com Nanorestore®.

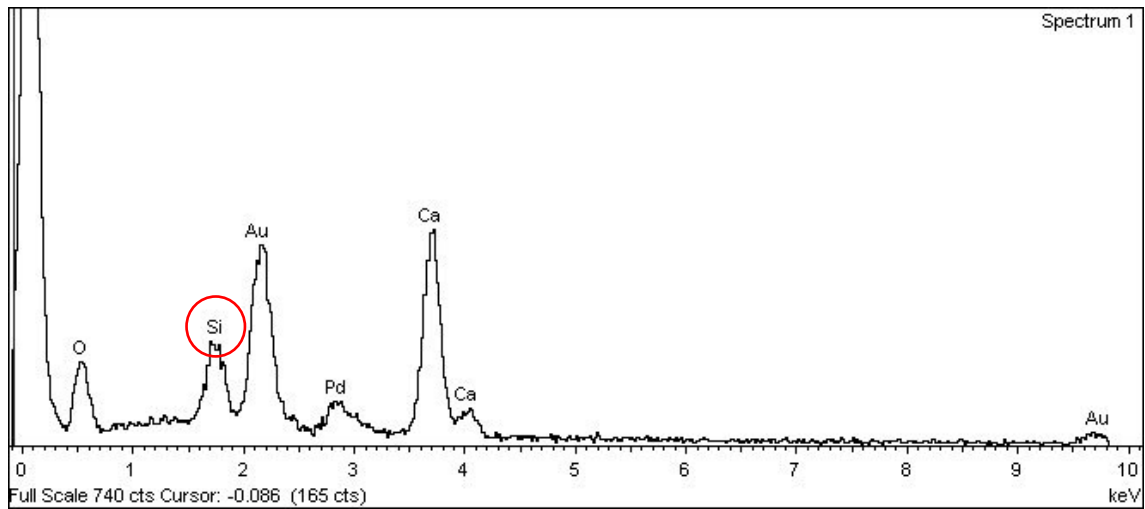


Figura 3.17 – Espectro EDS indicando a presença de Si na matriz rochosa.

4. CONCLUSÕES

O material pétreo constituinte do património cultural edificado ou escultórico quando sujeito a um incêndio e a agentes de alteração externos perde o seu valor estético, artístico e cultural, numa maior ou menor escala consoante a magnitude atingida pelo fogo, o que pode ir de uma alteração colorimétrica à desintegração total. Após exposição a 600°C, choque térmico por imersão em água à temperatura ambiente e ainda envelhecimento acelerado por deposição de dióxido de enxofre, o calcário tipo Lioz sofreu não só modificação cromática como também grande alteração físico-mecânica resultando no aumento da porosidade aberta, absorção de água por capilaridade e perda de material superficial e ainda numa diminuição da velocidade de propagação das ondas-p e da resistência mecânica à flexão (Figura 4.1).

Os danos provocados por acção térmica no Lioz resultaram deste modo num decréscimo da sua tensão inicial. Para equalizar esta deficiência foram aplicados dois consolidantes: o silicato de etilo (Tegovakon®) e a nanocal (Nanorestore®). Ambos produtos químicos tiveram um efeito positivo sobre a pedra natural, avaliada na redução do volume de espaços abertos, da absorção de água por capilaridade e da desagregação superficial de material e consequentemente no incremento da velocidade de propagação das ondas-p assim como da resistência mecânica à flexão (Figura 4.1). Apesar de ter ocorrido uma alteração cromática, esta não foi significativa ao ponto de ser identificada pelo olho humano.

Métodos	Após dano térmico e envelhecimento acelerado	Após consolidação	
		Silicato de etilo (Tegovakon®)	Nanocal (Nanorestore®)
Colorimetria	$\Delta L^* > 0; \Delta a^* > 0; \Delta b^* > 0$	$\Delta L^* < 0; \Delta a^* > 0; \Delta b^* < 0$	
Porosidade aberta	> 3x	< 13%	< 7%
Absorção de água por capilaridade	> 10x	< 75%	< 21%
Velocidade de propagação das ondas-p	< 54%	> 9%	> 6%
Resistência mecânica à flexão	< 71%	> 8%	> 22%
Desagregação superficial	> 2%	< 4%	< 1%

Figura 4.1 – Quadro resumo com os resultados obtidos ao longo do estudo.

Dos dois consolidantes o que apresentou melhores resultados foi o silicato de etilo. Embora este produto químico possua maior afinidade com pedras silicatadas, como é o caso dos arenitos (Snethlage, 2011), os resultados obtidos sugerem que possivelmente ocorre uma

restituição da compactação de pedra calcária com silicato de etilo. No entanto, seria importante estudar a durabilidade do consolidante, explorando o espaço poroso e as ligações da sílica gel,, uma vez que autores como Snethlage (2011) e Pamplona (2008) afirmam que a consolidação de calcários com silicato de etilo é menos eficiente visto que estes possuem poucos grupos hidroxilos (-C-O-H) ou silanois (-Si-O-H) ligados aos minerais de calcite, grupos estes essenciais para uma ligação eficaz. Segundo Snethlage (2011) e Pamplona (2008) estudos para ultrapassar esta dificuldade já foram desenvolvidos no passado com a criação de uma camada de grupos hidroxilo na superfície cristalina da calcite pela aplicação de uma solução diluída de ácido tartárico ou pela aplicação de um agente acoplante como pré-tratamento. Pamplona (2008) chegou inclusivamente a utilizar um produto TEOS adaptado ao Lioz com a capacidade de formar uma sílica gel tridimensionalmente mais flexível para um tratamento mais eficaz. Posto isto, para além do estudo da durabilidade, também seria interessante analisar a possibilidade de adaptar o silicato de etilo ao Lioz danificado termicamente. Apesar do resultados serem mais favoráveis para o silicato de etilo é importante referir que contrariamente a este, a nanocal tem a vantagem de ser quimicamente compatível com o substrato, o que a longo prazo poderá fazer a diferença. Será que esse factor químico lhe confere maior durabilidade? Deste modo, tal como para o silicato de etilo, também seria interessante avaliar o comportamento da nanocal a longo prazo num calcário danificado por acção térmica.

Referências

- Aires-Barros, L. 2001. *As rochas dos monumentos portugueses - tipologias e patologias*, Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR), Volume 1, 83, Lisboa.
- Beer, F. P.; Johnston Jr., E. R.; Dewolf, J. T. 2001. *Mechanics of materials*, Third edition, Chapter 2, McGraw-Hill Hardcover.
- Camposinhos, R. S. 2009. *Revestimentos em pedra natural com fixação mecânica: dimensionamento e projecto*, Capítulo 4, Edições Sílabo.
- Cnudde, V.; Cnudde, J.P.; Dupuis, C.; Jacobs, P. J. S. 2004. *X-ray micro-CT used for localization of water repellents and consolidants inside natural building stones*, Materials Characterization 53: 259-271.
- Cnudde, V.; Dierick, M.; Vlassenbroeck, J.; Masschaele, B.; Lehmann, E.; Jacobs, P.; Van Hoorebeke, L. 2007. *Determination of the impregnation depth of siloxanes and ethyl silicates in porous material by neutron radiography*, Journal of Cultural Heritage 8: 331-338.
- COST-C17 Memorandum of understanding for the implementation of European concerted research action designated as COST Action C17 "Built Heritage: Fire Loss to Historic Buildings"; 2001.
- Daniele, V.; Taglieri, G.; Quaresima, R. 2008. *The nanolimes in Cultural Heritage Conservation: Characterization and analysis of the carbonatation process*; Journal of Cultural Heritage 9: 294-301.
- Daniele, V.; Taglieri, G. 2010. *Nanolime suspensions applied on natural lithotypes: The influence of concentration and residual water content on carbonatation process and on treatment effectiveness*, Journal of Cultural Heritage 11: 102-106.
- Dei, L.; Salvadori, B. 2006. *Nanotechnology in cultural heritage conservation: nanometric slaked lime saves architectonic and artistic surfaces from decay*, Journal of Cultural Heritage, 110-115.
- Dionísio, A. 2007. *Stone decay induced by fire on historic buildings: the case of the cloister of Lisbon Cathedral (Portugal)*, Em: R. Přikryl e B. J. Smith (editores), Building Stone Decay: From Diagnosis to Conservation, Geological Society, Special publication 271: 87-98, London.
- Dionísio, A.; Braga, M.; Waerenborgh, J.C. 2012. *Fire-Induced Colour Modifications on Limestones Used as Building Materials in Portuguese Monuments. A Case Study for Built Heritage*, Em: M. C. Wythers (editor) Advances in Materials Science Research, Volume 13: 221-244, Nova Science Publishers, Inc.
- Drdácký, M.; Lesák, J.; Rescic, S.; Slí~zková, Z.; Tiano, P.; Valach, J. 2012. *Standardization of peeling tests for assessing the cohesion and consolidation characteristics of historic stone surfaces*, Materials and Structures 45: 505-520.

El-Gohary, M. A. 2015. *Methodological evaluation of some consolidants interference with ancient Egyptian sandstone "Edfu Mammisi as a case study"*, Progress in Organic Coatings 80: 87-97.

EN 1925 – Natural stone test methods - Determination of water absorption coefficient by capillarity, Brussels: Europeans Committee for Standardization, 1999.

EN 1936 – Natural stone test methods – Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity, Brussels: European committee for Standardization, 2006.

EN 13161 – Natural stone test methods - Determination of flexural strength under constant moment, Brussels: Europeans Committee for Standardization, 2008.

EN 13919 – Natural stone methods, Determination of resistance to ageing by SO₂, Brussels: Europeans Committee for Standardization, 2002.

EN 14066 – Natural stone test methods, Determination of resistance to ageing by thermal shock, Brussels: Europeans Committee for Standardization, 2003.

Figueiredo, C. A. M. 1999. *Alteração, alterabilidade e património cultural construído: o caso da Basílica da Estrela*, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Franzoni, E.; Sassoni, E.; Schererb, G. W.; Naidu, S. 2013. *Artificial weathering of stone by heating*, Journal of Cultural Heritage 145: e85-e93.

Gómez-Heras, M.; Varas, M. J.; Alvarez de Buergo, M.; Fort, R. 2004. *Characterization of changes in matrix of sandstones affected by historical fires*, Em: D. Kwiatkowski e R. Löfvendahl (editores), 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone – Stockholm, 561-568.

Gómez-Heras, M., Hajpál, M., Álvarez de Buergo, M., Torok, A., Fort, R., Varas, M. J. 2006a. *Evolution of porosity in Hungarian building stones after simulated burning*. Proceedings of Heritage Weathering and Conservation HWC 2006, Taylor & Francis, 513-519.

Gómez-Heras, M.; Figueiredo, C.; Varas, M. J.; Maurício, A.; Álvarez de Buergo; M., Aires-Barros, L., Fort, R. 2006b. *Digital image analysis contribution to the evaluation of the mechanical decay of granitic stones affected by fires*, Em: S. K. Kourkoulis (editor) Fracture and failure of natural building stones, Springer, Dordrecht, 1-12.

Gómez-Heras, M.; Smith, B. J.; Fort, R. 2006c. *Surface temperature differences between minerals in crystalline rocks: Implications for granular disaggregation of granites through thermal fatigue*, Geomorphology 78: 236-249.

Karatasios, I.; Theoulakis, P.; Kalagri, A.; Sapolidis, A.; Kilikoglou, V. 2009. *Evaluation of consolidation treatments of marly limestone used in archaeological monuments*, Construction and Building Materials 23: 2803-2812.

- Ozguven, A.; Ozcelik, Y. 2013. *Investigation of some property changes of natural building stones exposed to fire and high heat*, Construction and Building Materials 38: 813-821.
- Obojes, U.; Tropper, P.; Mirwald, P.; Saxer, A. 2006. *The effects of fire and heat on natural building stones: First results from the Gröden Sandstone*, Em: R. Fort, M. Alvarez de Buergo, M. Gómez-Heras, & C. Vazquez-Calvo (editores) Heritage, Weathering and Conservation, London, 521-524.
- Pamplona, M. S. 2008. *Stone consolidants and water repellents. Methodological study of conservation interventions: effectiveness, harmfulness and durability*, Tese de Doutoramento. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pires, V. 2013. *Stone materials and cladding fixing systems a physical-mechanical behaviour study*, Tese de Doutoramento, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Pires, V.; Rosa, L. G.; Dónisio, A. 2014. *Implications of exposure to high temperatures for stone cladding requirements of three Portuguese granites regarding the use of dowel-hole anchoring system*, Construction and Building Materials 64: 440-450.
- Plataforma digital do Regimento de Sapadores Bombeiros de Lisboa: <http://www.rslisboa.com.pt/default.aspx?canal=228> consultado a 24 de Fevereiro de 2014.
- Plataforma digital das Rochas Ornamentais Portuguesas: rop.lneg.pt/rop consultado a 8 de Julho de 2015.
- Rodriguez-Navarro, C.; Suzuki, A.; Ruiz-Agudo, E. 2013. *Alcohol dispersions of calcium hydroxide nanoparticles for stone conservation*, American Chemical Society, Langmuir 29: 11457-11470.
- Rosario, I.; Elhaddad, F.; Pan, A.; Benavides, R.; Rivas, T.; Mosquera, M. J. 2015. *Effectiveness of a novel consolidant on granite: Laboratory and in situ results*, Constructions and Building Materials 76: 140-149.
- Silva, Z. C. 2007. *O Lioz português. De lastro de navio a arte na Bahia*, Edições Autora e Afrontamento, Porto.
- Simão, J. A. R. S. 2003. *Rochas ígneas como pedra ornamental – causas, condicionantes e mecanismos e alteração. Implicações tecnológicas*, Tese de Doutoramento, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Departamento de Ciências da Terra, Lisboa.
- Snethlage, R.; Sterflinger, K. 2011. *Stone Consolidation*, Em: S. Siegesmund e R. Snethlage (editores) Stone in Architecture, Chapter 7, Springer.
- Yavuz, H.; Demirdag, S.; Caran, S. 2010. *Thermal effect on the physical properties of carbonate rocks*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 47: 94-103.

Anexo 1 – Ficha de produto: Tegovakon®

BIU Internacional, Lda.

Tel + 351 219 578 888 - Fax: 219 578 890 - <http://www.biu.pt> - E-mail: biu@mail.telepac.pt

TEGOVAKON®

ETILORTOSILICATO PARA CONSOLIDAÇÃO DE MATERIAIS MINERAIS DESAGREGADOS

Os agentes consolidantes **TEGOVAKON®** são sistemas monocomponentes, prontos para aplicação, à base de ester de silício e metilsiloxano com efeito consolidante (**TEGOVAKON® V**) e hidrofugante (**TEGOVAKON® T**).

Aplica-se preferencialmente sobre pedras deterioradas, betão e tijolos com desprendimentos arenosos e juntas estragadas.

FORMA DE UTILIZAÇÃO:

Agente consolidante **TEGOVAKON® V**

Agente consolidante **TEGOVAKON® T**

Conteúdo de compostos siliciorgânicos

> 75 % do peso (referido ao ortosilicato)

> 75 % do peso (referido ao ortosilicato e metilsiloxano)

Desprendimento mínimo de gel:
(matéria activa) seco até peso
constante (20 °C, 60 % de H.R.)

aprox. 34 % do peso

aprox. 38 % do peso

Densidade a 25 °C:

0.93 a 0.97 g/cm³

0.92 a 0.96 g/cm³

Ponto de inflamação (DIN 53213): 13 °C / 6 °C

Cor: incolor (ligeiramente amarelo por vezes)

ARMAZENAMENTO:

Os agentes consolidantes **TEGOVAKON®** podem armazenar-se durante 6 meses, nos recipientes fechados e protegidos contra a humidade assim como a temperaturas não superiores a 30 °C.

ARMAZENAGEM E PROTECÇÃO LABORAL:

Símbolo: F + Xn idem

Normas

Classificação segundo as normas para líquidos inflamáveis.

PREPARAÇÃO E APLICAÇÃO:

Antes de aplicar o consolidante **TEGOVAKON**[®] deve determinar-se o grau de deterioração e de sujidade decidindo-se se precisa de uma consolidação prévia antes do processo de limpeza. Em qualquer caso, é necessário uma limpeza prévia profunda das superfícies, mediante jacto de vapor ou água. Em caso de utilizar detergentes químicos, dever-se-á procurar eliminar os restos de detergente e do agente humectante, mediante uma lavagem posterior com abundante água, porque de contrário podem-se produzir descolorações parciais.

Se o fundo está muito deteriorado e primeiro precisa de uma consolidação do material residual, recomendamos um tratamento prévio com o consolidante **TEGOVAKON**[®] V. Uma vez endurecida a superfície, pode iniciar-se a limpeza atrás descrita.

Deve-se ter em conta o seguinte:

- As superfícies a tratar devem ser absorventes, estarem secas e limpas (antes do tratamento é preciso eliminar-se as crostas de sujidade, as algas e os musgos, assim como as eflorescências salinas).
- Proteger os vidros, as janelas e portas, assim como os materiais sensíveis aos solventes, tais como por exemplo, as juntas elásticas, contra os salpicos do agente consolidante.
- Tapar as plantas que se encontram na área de aplicação do produto.
- As superfícies recentemente restauradas devem endurecer primeiro.
- Eliminar todas as camadas de tintas antigas.
- Eliminar a presença de humidade ascensional nas paredes a tratar mediante a aplicação de uma barreira horizontal, por exemplo, mediante a injeção à pressão de CAPILASIL.

O tratamento mais eficaz obtém-se mediante a aplicação em cortina do consolidante sobre a superfície, até à saturação.

Poder-se-á também aplicar o referido produto por pulverização, (5-10 cm).

A aplicação com um rolo de pele de cordeiro, por exemplo, também é possível, se a camada aplicada for suficientemente regular.

Quando as superfícies estão fortemente deterioradas, recomenda-se repetir a aplicação, após a evaporação vez o solvente evaporado.

A aplicação do **TEGOVAKON**[®] também pode efectuar-se por vazio, imersão ou injeção, assim como por meio de compressas.

Para impregnar as zonas consolidantes com **TEGOVAKON**[®] V, o que recomendamos para proteger de forma eficaz as superfícies contra a posterior penetração de humidade, deve prestar-se atenção a que, o solvente aplicado no tratamento de consolidação precedente se tenha evaporado, para que haja tempo a reconstituir-se o necessário poder de absorção do suporte, para a posterior impregnação.

As temperaturas exteriores adequadas para a aplicação de **TEGOVAKON**[®] situam-se entre os 10 e 25 °C; as temperaturas abaixo de 0 °C são desaconselháveis.

EMBALAGEM:

Recipientes Standard de 1 l, 5 l e 25 l.

Tambores não retornáveis, de 190 kg (200 l), envernizados no interior.

PROPRIEDADES E EFEITO:

Por meio do seu efeito consolidante, **TEGOVAKON®** recuperará a capacidade sustentadora dos materiais onde se aplica, recompondo a estrutura mineral dos mesmos. Os agentes consolidantes são absorvidos por efeito capilar, de modo que podem operar também nas camadas mais profundas do material.

TEGOVAKON® reduz a difusão de água aos valores de uma pedra sã, de modo que a transpirabilidade dos suportes tratados pode-se comparar à das zonas não deterioradas. As superfícies tratadas conservam o seu aspecto natural, de modo que normalmente não se produzem alterações visuais.

Recomenda-se, não obstante, tratar sempre toda a superfície para assegurar que esta tenha uma aparência óptica uniforme. Com o objectivo de se conseguir a máxima segurança na sua aplicação, recomenda-se tratar primeiramente uma pequena superfície de teste, para verificar se se produzem mudanças de cor.

Depois de uma aplicação de **TEGOVAKON® V**, recomendamos efectuar uma hidrofugação com uma solução à base de TEGOSIVIN HL (Aguasil), pronto a usar, para evitar que possa penetrar a chuva e, com ela, as substâncias nocivas que leva dissolvida.

Se se aplica o agente consolidante **TEGOVAKON® T**, não é preciso nenhuma hidrofugação posterior, já que este produto possui um efeito hidrófobo adicional. Apesar disso, em muitos casos, será necessário dar preferência ao agente consolidante **TEGOVAKON® V**, sobretudo naqueles casos onde existe uma deteriorização importante, o que implica a necessidade de várias aplicações do agente consolidante.

TEGOVAKON® V deve aplicar-se também, quando, depois da consolidação, se efectuem reparações da pedra ou engastes em cor.

As principais características dos consolidantes **TEGOVAKON®**:

- Efeito consolidante
- Monocomponente
- Substâncias activas compatíveis com os materiais de construção.
- Elevado poder de penetração.
- Seco ao tacto.
- Resistente à intempérie
- Conservação da respirabilidade.
- Normalmente não se produz nenhuma alteração óptica das superfícies tratadas.
- Boa aceitabilidade de tintas nas superfícies tratadas com **TEGOVAKON® V** (no caso de **TEGOVAKON® T** só de sistemas à base de solventes).

A profundidade de penetração do agente consolidante **TEGOVAKON®** depende do poder absorvente do suporte, da quantidade de material aplicado e do método de aplicação. Para calcular o consumo exacto e o grau de distribuição obtido, aconselhamos aplicar o produto, primeiramente, numa superfície de teste. Nos materiais habituais, podemos contar com um consumo de 0.5 a 1.5 l/m², mas em alguns casos estas quantidades poderão ser maiores. Recomendamos uma leitura atenta das nossas indicações para evitar qualquer dano possível. Esta informação dá-se segundo os nossos últimos conhecimentos, e sem compromisso algum da nossa parte. Tão pouco nos responsabilizamos nos casos de falta de consulta. Esta ficha técnica perde a validade ao ser substituída por outra.

Anexo 2 – Ficha de produto: Nanorestore®

**FLUOLINE CP (ex FLUORMET CP)**

Prodotto consolidante/protettivo pronto all'uso a base di fluoroelastomeri e polimeri acrilici in acetone, reversibile, resistente ai raggi UV. **Fuoline CP** può essere utilizzato per il consolidamento e la protezione di elementi architettonici, senza alterarne il cromatismo.

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE:

Aspetto: liquido trasparente incolore
Tempo di essiccazione: ca. 10 ore (a 23° C)
Peso specifico: 0,81 ± 0,03 kg/l (ASTM D 792)

CONFEZIONI 1 l 5 l 25 l

NANORESTORE®

Consolidante superficiale a base di idrossido di calcio nanofasico disperso in alcool isopropilico. Basandosi sulla trasformazione dell'idrossido in carbonato di calcio per azione dell'anidride carbonica atmosferica, **Nanorestore®** è il consolidante compatibile per eccellenza per gli affreschi e i lapidei a matrice carbonatica. **Nanorestore®** è un Brevetto Italiano Consorzio CSGI-Università degli Studi di Firenze.

Nanorestore® può essere applicato su dipinti murali, intonaci, marmo ed altri materiali lapidei a matrice carbonatica.

Proprietà-caratteristiche:

- ottima permeabilità al vapor d'acqua
- assenza di variazioni cromatiche o effetti di lucido
- mantenimento dell'idrofilia ed assenza di film superficiali idrofobi

CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE:

Aspetto: liquido bianco opalescente
Contenuto materia attiva: 0,5%
Densità: ca. 0,8 kg/l a 20°C
Viscosità a 25°C: 2,75 cP

CONFEZIONI: 1 l

**FLUOLINE CP (ex FLUORMET CP)**

Produit consolidant et protecteur, prêt à l'emploi, à base de fluoroélastomères et polymères acryliques en acétone, réversible, résistant aux rayons UV. **Fuoline CP** peut être utilisé pour consolider et protéger des éléments architecturaux, sans en altérer le chromatisme.

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: liquide transparent incolore
Temps de séchage: environ 10 heures (à 23°C)
Poids spécifique: 0,81 ± 0,03 kg/l (ASTM D 792)

CONDITIONNEMENTS: 1 l 5 l 25 l

NANORESTORE®

Consolidant de surface a base d'hydroxyde de calcium nanophasique, en dispersion dans l'isopropanol. En se basant sur la transformation de l'hydroxyde en carbonate de calcium par l'action de l'anhydride carbonique atmosphérique, **Nanorestore®** est le consolidant compatible par excellence pour les fresques et les pierres à matrice carbonatée. **Nanorestore®** est un Brevet Italien Consortium CSGI-Université des Etudes de Florence.

Nanorestore® peut être appliqué sur peintures murales, enduits, marbre et autre matériaux pierreux à matrice carbonatée.

Propriétés-caractéristiques:

- excellente perméabilité à la vapeur d'eau
- absence de variations chromatique ou d'effets de brillance
- maintien de l'hydrophilie et absence de film hydrophobe en surface

CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES:

Aspect: liquide blanc opalescent
Contenu de matière active: 0,5 %
Densité: env. 0,8 kg/l à 20°C
Viscosité a 25°C: 2,75 cP

CONDITIONNEMENTS: 1 l

**FLUOLINE CP (ex FLUORMET CP)**

A ready-to-use consolidant/protective product based on fluoroelastomers and acrylic polymers in acetone, reversible, resistant to UV rays. **Fuoline CP** can be used for the consolidation and protection of architectural elements, without changing their chromatism.

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Appearance: colourless transparent liquid
Drying time: approx. 10 hours (at 23°C)
Specific gravity: 0.81 ± 0.03 kg/l (ASTM D 792)

PACK SIZE: 1 l 5 l 25 l

NANORESTORE®

A surface consolidant based on nanophasic calcium hydroxide dispersed in isopropyl alcohol. As it is based on the transformation of hydroxide in calcium carbonate through the action of atmospheric carbon dioxide, **Nanorestore®** is the consolidant compatible above all others for frescoes and stone materials with carbonate matrix. **Nanorestore®** is an Italian Patent Consorzio CSGI-Università degli Studi of Florence.

Nanorestore® can be applied to wall paintings, plasters, marble and other stone materials with carbonate matrix.

Properties-characteristics:

- excellent water vapour permeability
- absence of chromatic alterations or glossy effects
- maintenance of hydrophilily and absence of superficial hydrophobic films

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES:

Appearance: opalescent white liquid
Active material content: 0.5%
Density: ca. 0.8 kg/l at 20°C
Viscosity at 25°C: 2.75 cP

PACK SIZE: 1 l

**FLUOLINE CP (ex FLUORMET CP)**

Gebrauchsfertiges Verfestigungs-/Schutzprodukt mit Fluorelastomeren und Acrylpolymeren in Aceton, reversibel und UV-Strahlen beständig. **Fuoline CP** kann zur Verfestigung und zum Schutz von architektonischen Elementen zum Einsatz kommen, ohne dabei die Färbung derselben zu ändern.

CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN:

Aussehen: farblose durchsichtige Flüssigkeit
Trockenzeit: ca. 10 Stunden (bei 23° C)
Gewicht: 0,81 ± 0,03 kg/l (ASTM D 792)

PACKUNGSGRÖSSEN: 1 l 5 l 25 l

NANORESTORE®

Oberflächenverfestigungsmittel mit nanophasischem in Isopropylalkohol dispersem Calciumhydroxid. Sich auf die Umwandlung vom Hydroxid ins Calciumcarbonat durch die Wirkung vom atmosphärischen Kohlendioxid stützend, ist **Nanorestore®** das kompatible Verfestigungsmittel im wahrsten Sinne des Wortes für Fresken und Steinwerkstoffe mit carbonathaltiger Matrix. **Nanorestore®** ist ein Italienisches Patent vom Konsortium CSGI der Universität von Florenz.

Nanorestore® kann auf Mauergemälde, Putz, Marmor und andere Steinwerkstoffe mit carbonathaltiger Matrix aufgetragen werden.

Kennzeichnende Eigenschaften:

- Ausgezeichnete Wasserdampfdurchlässigkeit
- Keine Farbänderung und keinen Glanzeffekt
- Bewahrung der Hydrophilie und keine von hydrophoben Oberflächenschichten

CHEMISCHE UND PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN:

Aussehen: opaleszierende weiße Flüssigkeit
Wirkstoffgehalt: 0,5%
Dichte: ca. 0,8 kg/l bei 20°C
Viskosität bei 25°C: 2,75 cP

PACKUNGSGRÖSSEN: 1 l

