



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Métodos e materiais

**Maria do Rosário Veiga**

Investigadora Principal com Habilitação, LNEC

LISBOA • 2009

Programa de Investigação e de Pós-Graduação elaborado no Laboratório Nacional de Engenharia Civil em 2007 para obtenção do título de Habilitada para o Exercício das Funções de Coordenação Científica

**TESES E PROGRAMAS  
DE INVESTIGAÇÃO**

**VEIGA, Maria do Rosário**  
Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil  
Departamento de Edifícios

A publicação deste Programa de Investigação e de Pós-graduação integra-se no âmbito de dois projectos de investigação apoiados pela Fundação para a Ciência e Tecnologia: POCTI/HEC/57915/2004 e POCTI/HEC/57723/2004.

Teses e Programas de Investigação LNEC é uma colecção editorial do Laboratório Nacional de Engenharia Civil destinada a divulgar os trabalhos de investigação realizados no LNEC e de que resultaram Teses apresentadas em concurso para Investigador Auxiliar do LNEC, Teses de Doutoramento apresentadas em Universidades portuguesas e estrangeiras, e Programas de Investigação apresentados em concurso para obtenção do título de Habilitação para o Exercício das Funções de Coordenação Científica.

**Editado na mesma colecção:**

- TPI 53 GOMES, José Piteira — *Modelação do comportamento estrutural de barragens de betão sujeitas a reacções expansivas. (2008)*
- TPI 54 VISEU, Teresa — *Segurança dos vales a jusante de barragens. Metodologias de apoio à gestão do risco. (2008)*
- TPI 55 VIEGAS, João C. — *Utilização de ventilação de impulso em parques de estacionamento cobertos. (2008)*
- TPI 56 CALDEIRA, Laura M. M. Saraiva — *Análises de risco em geotecnia. Aplicação a barragens de aterro. (2008)*
- TPI 57 MOTA, Rogério — *Metodologias de prospecção geofísica aplicadas a problemas ambientais e geotécnicos. Aplicação conjunta de métodos eléctricos e sísmicos. (2008)*

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I.P.  
Divisão de Divulgação Científica e Técnica  
AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA  
e-e: livraria@lnec.pt  
www.lnec.pt

Editor: LNEC

Colecção: Teses e Programas de Investigação LNEC

Série: TPI 58

1.ª edição: 2009

Tiragem: 100 exemplares

Descritores: Edifício antigo / Revestimento de paredes / Conservação de edifícios / Reparação de edifícios / Programa de investigação / LNEC / PT

Descriptors: Ancient building / Wall coating / Building conservation / Building repair / Research program / LNEC / PT

CDU 693.695:624.059.25(469)

ISBN 978-972-49-2176-1

# **CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS**

## **RESUMO**

O presente documento inclui um Programa de Investigação e um Programa de Pós-graduação associado e destina-se a ser apresentado para prestação de provas para obtenção do título de Habilitado para o exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica, nos termos do disposto no Decreto-Lei que regula o Estatuto da Carreira de Investigação Científica.

O Programa de Investigação foca a conservação dos revestimentos de paredes de edifícios antigos, entendidos como os edifícios anteriores à adopção da estrutura de betão armado.

Os revestimentos que protegeram as paredes ao longo dos séculos, embora muito diversificados técnica e formalmente, tinham importantes aspectos em comum e funções bem definidas, que lhes conferem grande importância na conservação dos edifícios antigos: têm um papel fundamental na protecção da alvenaria contra acções climáticas, choques mecânicos, contaminação ambiental; condicionam fortemente o aspecto final das construções; podem reforçar significativamente a resistência mecânica de alvenarias fracas. Por estarem muito expostos a acções potencialmente destrutivas, os revestimentos são também dos elementos mais sujeitos à degradação.

No Programa de Investigação faz-se um estado da arte dos conhecimentos actuais na temática em causa e descrevem-se quatro Linhas de Investigação com o objectivo de desenvolver os conhecimentos nessa área, estabelecendo fundamentos científicos sólidos para o projecto de conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos e para a execução da intervenção.

O Programa de Pós-graduação é constituído por um conjunto de propostas de trabalhos de Investigação, a realizar por jovens licenciados e por estudantes de Mestrado e de Doutoramento, no sentido de concretizar duas das Linhas de Investigação.

# **CONSERVATION AND REPAIR OF RENDERS AND PLASTERS OF ANCIENT BUILDINGS. METHODS AND MATERIALS**

## **ABSTRACT**

The present document includes a Research Program and an associated Post-graduation Program and aims a presentation to get the title of Habilitation for Functions of Scientific Research, as disposed at the Decree-Law that rules the Statute of the Portuguese Scientific Research Career.

The Research Program focuses the conservation of wall renders and plasters for ancient buildings, considered as the buildings previous to the adoption of reinforced concrete structure.

The renders and plasters that protected walls along the centuries, though technically and formally very diversified, had important common features and well defined functions conferring them great importance in the conservation of ancient buildings: they have a fundamental role at the protection of masonry against climatic actions, mechanical impact, environmental contamination; they strongly condition the final appearance of constructions; they can significantly reinforce the mechanical strength weak masonries. Because they are very exposed to potentially destructive actions, renders and plasters are also the elements most subjected to damage.

The Research Program includes a state-of-the-art of present knowledge regarding the theme proposed and four Research Lines are described with the aim to develop knowledge in that area, establishing solid scientific fundamentals to the design of conservation and repair of old buildings' renders and plasters and for intervention's accomplishment.

The Post-graduation Program is composed by Research works proposals, to be carried out by young engineers and architects and by Master and Ph.D students, with the purpose of materializing two of the Research Lines described at the Research Program.

# CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS

## ÍNDICE DO TEXTO

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>NOTAS INICIAIS</b> .....  | 1           |
| <b>PARTE I - PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO</b> .....  | 7           |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 9           |
| 1.1 – Justificação do programa .....   | 9           |
| 1.2 – Objectivos .....   | 15          |
| 1.3 – Organização .....  | 17          |
| 2. CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS -<br>ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS ..... | 19          |
| 2.1 – Introdução .....   | 19          |
| 2.2 – Revestimentos antigos .....  | 20          |
| 2.3 – Estratégias de intervenção .....   | 67          |
| 2.4 – Soluções de reparação.....   | 72          |
| 2.5 – Critérios de compatibilidade.....  | 83          |
| 2.6 – Durabilidade .....   | 90          |
| 2.7 – Planos de manutenção.....  | 91          |
| 3. PROJECTOS DE INVESTIGAÇÃO EM CURSO NO LNEC.....   | 93          |
| 3.1 – Envolvimento do LNEC em Projectos de Investigação .....                                  | 93          |
| 3.2 – Projectos de Investigação internacionais .....   | 93          |
| 3.3 – Projectos de Investigação nacionais .....  | 96          |
| 3.4 – Dissertações .....   | 99          |

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 4. SÍNTESE CRÍTICA DA MATÉRIA TRATADA E DOS PROBLEMAS EM ABERTO NESTA ÁREA .....  | 103         |
| 5. LINHAS DE INVESTIGAÇÃO PROPOSTAS.....  | 113         |
| 5.1 – Introdução .....  | 113         |
| 5.2 - Linha 1 – Caracterização de revestimentos antigos .....   | 116         |
| 5.3 – Linha 2 – Metodologias de conservação, reparação e restauro .....   | 123         |
| 5.4 - Linha 3 - Compatibilidade e durabilidade de revestimentos para edifícios antigos.....   | 130         |
| 5.5 - Linha 4 - Revestimentos de substituição.....  | 140         |
| 5.6 – Planeamento dos meios necessários .....   | 153         |
| 6. CONCLUSÕES .....   | 155         |
| 6.1 – Benefícios esperados do programa de investigação .....  | 155         |
| 6.2 Viabilidade, tempo, aplicações .....  | 156         |
| 6.3 Publicações previstas .....   | 157         |
| <b>PARTE II - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO .....</b>   | <b>159</b>  |
| 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....   | 161         |
| 2. TRABALHOS DE ESTÁGIO .....   | 163         |
| 2.1 – Introdução .....  | 163         |
| 2.2 – Trabalho de estágio TE 3.1: Levantamento de tipos de suportes antigos com revestimentos de argamassa.....                     | 164         |
| 2.3 – Trabalho de estágio TE 3.2: Levantamento de condições climáticas relevantes para a durabilidade de revestimentos antigos..... | 165         |
| 2.4 – Trabalho de estágio TE 4.1: Levantamento de agregados usados em argamassas: natureza, forma, granulometria .....              | 167         |
| 3. DISSERTAÇÕES DE MESTRADO.....  | 169         |
| 3.1 – Introdução .....  | 169         |
| 3.2 – Dissertação de Mestrado M 3.1 – Exigências de compatibilidade de rebocos de substituição .....                                | 170         |

|   |     |
|---|-----|
| 3.3 – Dissertação de Mestrado M 4.1 – Argamassas de cal aérea com adjuvantes .....  | 172 |
| 3.4 – Dissertação de Mestrado M 4.2 – Argamassas de cal aérea adjuvadas com terra e fibras .....                                      | 174 |
| 3.5 – Dissertação de Mestrado M 4.3 – Avaliação da compatibilidade de soluções intermédias de fabrico nacional .....                  | 176 |
| 3.6 – Dissertação de Mestrado M 4.4 – Pinturas de substituição .....  | 178 |
| 4. DISSERTAÇÕES DE DOUTORAMENTO .....   | 181 |
| 4.1 – Introdução .....  | 181 |
| 4.2 – Dissertação de Doutorado D 3.1 – Caracterização de paredes antigas com vista a definir a compatibilidade de revestimentos ..... | 182 |
| 4.3 – Dissertação de Doutorado D 3.2 – Exigências de compatibilidade de argamassas de colagem de azulejos .....                       | 185 |
| 4.4 – Dissertação de Doutorado D 3.3 – Durabilidade de revestimentos para edifícios antigos .....                                     | 188 |
| 4.5 – Dissertação de Doutorado D 4.1 – Influência das condições de cura e de aplicação .....  | 191 |
| 4.6 – Dissertação de Doutorado D 4.2 – Influência das areias: forma, granulometria e natureza.....                                    | 194 |
| 4.7 – Dissertação de Doutorado D 4.3 – Incorporação de resíduos com características pozolânicas .....                                 | 197 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....   | 201 |
| BIBLIOGRAFIA.....   | 203 |

# CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS.

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| 1 – Representação esquemática de uma parede antiga de alvenaria de pedra irregular com o revestimento original (lado esquerdo) e com um revestimento novo mais impermeável (lado direito) ..... | 10          |
| 2 – Argamassas portuguesas de várias épocas.....  | 11          |
| 3 – Forte na zona de Lisboa: revestimento antigo (séc. XVIII) e extracção).....   | 12          |
| 4 – Reboco de cimento contribuindo para a retenção de água numa parede antiga.....  | 12          |
| 5 – Reboco de cimento favorecendo a cristalização de sais higroscópicos no seu interior .....   | 12          |
| 6 – Tinta polimérica dificultando a evaporação da água e conduzindo à degradação do reboco antigo .....   | 12          |
| 7 – Degradação superficial: manchas, sujidade, fissuração.....  | 14          |
| 8 – Revestimentos com valor artístico e técnico significativo, recorrendo a esgrafitos e fingidos .....   | 14          |
| 9 – Construção em terra.....  | 21          |
| 10 – Mhirab de antiga mesquita em estuque de gesso.....   | 21          |
| 11 – Parede Pombalina com argamassa de cal aérea.....   | 21          |
| 12 – Construção actual com estrutura e revestimentos baseados em cimento .....  | 21          |
| 13 – Argamassa Romana de Conímbriga .....   | 22          |
| 14 – Argamassa Romana de Mértola.....   | 22          |
| 15 – Muralha de Tavira (séc. VII).....  | 23          |
| 16 – Reboco da Sé de Elvas (séc. XVI).....  | 26          |
| 17 – Reboco do Centro Histórico de Palmela.....   | 26          |



|  |    |
|--|----|
| 18 – Rebocos modernos com base em cimento .....  | 26 |
| 19 – Representação esquemática do funcionamento de um revestimento multicamada no que se refere à deformação e ao transporte de água ..... | 29 |
| 20 – Camada intermédia picada para aderência da camada seguinte de reboco .....  | 31 |
| 21 – Degradação do acabamento em edifício Pombalino, acelerando a degradação das camadas interiores do revestimento .....                  | 31 |
| 22 – Fingidos e esgrafitos decorativos .....   | 35 |
| 23 – Corte estratigráfico in situ .....  | 36 |
| 24 – Amostras impregnadas com resina para estudo estratigráfico.....   | 36 |
| 25 – Observação de amostra estratigráfica à lupa binocular. Ampliação 15 x.....  | 36 |
| 26 – Esquema da metodologia usada no LNEC para determinação da composição de argamassas antigas.....                                       | 41 |
| 27 – Ensaio de compressão de amostras de argamassas extraídas em obra.....   | 47 |
| 28 – Ensaio de capilaridade de amostras de argamassas extraídas em obra .....  | 47 |
| 29 – Aplicação de tubos de Karsten em revestimento antigo.....   | 49 |
| 30 – Aplicação de <i>micro-drilling</i> em revestimento antigo .....   | 49 |
| 31 – Realização de ensaio com choque de esfera.....  | 49 |
| 32 – Realização de ensaio com ultra-sons .....   | 49 |
| 33 – Degradação do reboco, com pulverização, por efeito do ataque salino da água do mar.....   | 54 |
| 34 – Ensaio de comportamento aos sais .....  | 54 |
| 35 – Esquema da metodologia de diagnóstico preconizada pelo Projecto ONSITEFORMASONRY .....  | 64 |
| 36 – Esquema de uma metodologia de diagnóstico geral para revestimentos antigos.....   | 66 |
| 37 – Limpeza com jacto de água com baixa pressão.....  | 68 |
| 38 – Colmatação de lacuna com material semelhante.....   | 68 |

|  |     |
|--|-----|
| 39 – Palácio da Vila, em Sintra, após restauro do revestimento de fachada, com recurso a consolidação (década de 1990) .....                                   | 69  |
| 40 – LNEC, Edifício Arantes e Oliveira, após restauro do revestimento de fachada com recurso a consolidação (2006) .....                                       | 69  |
| 41 – Revestimento com perda de coesão generalizada.....  | 70  |
| 42 – Revestimento com perda de aderência generalizada .....  | 70  |
| 43 – Revestimentos de cimento incompatíveis com as alvenarias antigas: rigidez excessiva e retenção de água na parede.....                                     | 77  |
| 44 – Aplicações experimentais e ensaios laboratoriais sobre argamassas de substituição com base em cal.....  | 81  |
| 45 – Estudo sobre a influência dos métodos de preparação e de aplicação de argamassas de cal: painéis experimentais e avaliação da consistência adequada ..... | 109 |
| 46 – Revestimentos antigos de azulejos assentes com argamassas de cal.....   | 129 |
| 47 – Vários tipos de suportes: cantaria, alvenaria irregular de pedra e tijolo, alvenaria irregular de pedra com juntas de terra, adobe.....                   | 134 |
| 48 – Pinturas incompatíveis com suportes antigos.....  | 151 |

# CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS.

## ÍNDICE DE QUADROS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| 1 – Classificação do estado de conservação do revestimento .....   | 60          |
| 2 – Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção.....   | 71          |
| 3 – Resultados de ensaios realizados no LNEC com argamassas usadas como<br>revestimentos de substituição .....                                       | 79          |
| 4 – Resultados de ensaios realizados no LNEC com argamassas usadas como<br>revestimentos de substituição (cont.) .....                               | 80          |
| 5 – Requisitos gerais para características mecânicas de argamassas de substituição de<br>edifícios antigos.....                                      | 88          |
| 6 – Requisitos gerais para características de comportameto à água de argamassas de<br>substituição de edifícios antigos .....                        | 89          |
| 7 – Limites estabelecidos para características mecânicas das argamassas quando não são<br>conhecidas as características do suporte.....              | 89          |
| 8 – Limites estabelecidos para características de comportameto à água das argamassas<br>quando não são conhecidas as características do suporte..... | 89          |
| 9 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 1 ..   | 118         |
| 10 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 2   | 125         |
| 11 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 3   | 132         |
| 12 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 4   | 142         |
| 13 – Calendarização dos Projectos de Investigação propostos.....   | 156         |
| 14 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito do Trabalho de Estágio TE 3.1  | .164        |
| 15 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito do Trabalho de Estágio TE 3.2  | .166        |
| 16 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito do Trabalho de Estágio TE 4.1  | .168        |

|  |     |
|--|-----|
| 17 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado     |     |
| M 3.1.....   | 171 |
| 18 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado     |     |
| M 4.1.....   | 173 |
| 19 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado     |     |
| M 4.2.....   | 175 |
| 20 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado     |     |
| M 4.3.....   | 178 |
| 21 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado     |     |
| M 4.4.....   | 180 |
| 22 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 3.1 .....  | 184 |
| 23 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 3.2 .....  | 187 |
| 24 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 3.3 .....  | 190 |
| 25 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 4.1 .....  | 193 |
| 26 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 4.2 .....  | 196 |
| 27 – Planeamento dos trabalhos a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento |     |
| D 4.3 .....  | 199 |

# **CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS**

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste Programa surgiu na sequência do trabalho de investigação realizado nesta área nos últimos dez anos. Como tal, deve-se em grande parte às condições existentes no LNEC para o trabalho de investigação e ao contributo de várias pessoas que colaboraram, a vários níveis, para o trabalho de equipa exigido por esse tipo de estudos.

Entre essas múltiplas contribuições, quero agradecer em particular:

- Às Direcções do LNEC entre 1997 e 2007, que criaram condições para a realização de trabalho de Investigação durante este período.
- Ao Director do Departamento de Edifícios no mesmo período, Eng<sup>o</sup> José Vasconcelos Paiva, que viabilizou a participação em Projectos de Investigação, incentivou os contactos internacionais e, pessoalmente, me apoiou e ajudou com observações e críticas pertinentes e sábios conselhos.
- Aos Chefes do Núcleo onde tenho trabalhado, Eng<sup>os</sup> Pedro Pontífice e Jorge Grandão Lopes, pela colaboração e pela amizade que sempre me dispensaram.
- À colega e amiga Fernanda Carvalho que colaborou em vários projectos e sempre me acompanhou e ajudou com espírito crítico e exigente.
- Aos colegas do LNEC que participaram comigo em Projectos de Investigação (programada ou por contrato), em especial ao José Aguiar, ao António Santos Silva, ao Carlos Pina dos Santos, ao João Palma, à Ana Cristian Magalhães e à Martha Tavares, pelo entusiasmo que puseram no trabalho e que nos permitiu, em conjunto, avançar no conhecimento e pelos ensinamentos nas suas áreas de especialidade que generosamente me dispensaram.

- Aos colegas exteriores ao LNEC que colaboraram em Projectos, financiados ou não, que permitiram aproveitar sinergias e alargar os meus conhecimentos, de entre os quais destaco, entre outros, a Ana Luísa Velosa, da Universidade de Aveiro, a Goreti Margalha, da Câmara Municipal de Beja, o Jorge de Brito, do Instituto Superior Técnico e o António Candeias, da Universidade de Évora.
- Aos técnicos de experimentação do LNEC que colaboraram nos Projectos de Investigação e cujo trabalho rigoroso, competente e tantas vezes além do horário, muito contribuiu para a eficácia do trabalho realizado. Em, especial, aos técnicos que têm exercido actividade no Laboratório de Ensaios de Revestimentos de Paredes: Ana Maria Francisco, Bento Sabala, Dora Santos e Luís Carmo.
- A todos os colegas e outros trabalhadores do LNEC que constroem um ambiente de trabalho de rigor, contribuindo com a sua parte para um trabalho eficaz.
- À minha família, que aceitou sempre alegremente horários complicados e me deu o apoio e a tranquilidade sem os quais não poderia trabalhar do mesmo modo.

Devo também um agradecimento à Fundação para a Ciência e Tecnologia, por ter financiado dois Projectos de Investigação (POCTI/HEC/57915/2004 e POCTI/HEC/57723/2004), no âmbito dos quais se inseriu este Programa.

**Ao Diogo e ao André  
que todos os dias me obrigam a ser uma pessoa melhor**





## **GLOSSÁRIO DE SIGLAS**

**ASTM** – American Society For Testing And Materials

**CEN** – European Committee of Standardization

**CSTB** – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

**DGEMN** – Direcção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais

**FAUTL** – Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

**ICCROM** – International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property

**ICR** – Instituto de Conservação e Restauro

**IPPAR** – Instituto Português do Património Arquitectónico

**IPT** – Instituto Politécnico de Tomar

**ISO** – International Standardization Organization

**IST** – Instituto Superior Técnico

**LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

**RILEM** – Réunion Internationale des Laboratoires et des Experts de Matériaux de Construction, des Systèmes et des Structures

**UA** – Universidade de Aveiro

**UPM** – Universidade Politécnica de Madrid



## **NOTAS INICIAIS**



# **CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS**

O presente documento inclui um Programa de Investigação e um Programa de Pós-graduação associado e destina-se a ser apresentado para prestação de provas públicas, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, com o objectivo de obtenção do título de habilitado para o exercício de funções de coordenação de investigação científica, nos termos do disposto no Decreto-Lei nº 124/99, de 20 de Abril de 1999, que regula o Estatuto da Carreira de Investigação Científica.

O Programa insere-se na área científica “Tecnologia e Física das Construções”.

De acordo com o disposto no n.º 3 do art. 30º do referido Decreto-Lei inclui-se no presente Programa uma síntese dos conhecimentos existentes sobre o tema, uma apresentação crítica dos problemas já tratados e dos problemas em aberto e a definição de linhas de investigação a prosseguir, metodologias a aplicar, meios necessários, objectivos a atingir e benefícios esperados. As linhas de investigação seleccionadas são em seguida concretizadas sob a forma de um Programa de Pós-graduação na área científica mencionada, incluindo, para cada uma, programas de estágio para jovens licenciados, temas para Dissertações de Mestrado e temas para Dissertações de Doutoramento.

O tema da Conservação e Reparação de edifícios antigos tem vindo a ser objecto de investigação no LNEC em diversas áreas científicas, mantendo, no entanto, uma importância crescente. Em toda a Europa, o ritmo de crescimento da construção nova tem vindo a diminuir e, paralelamente, a necessidade de conservar e reabilitar o património construído tem conhecido um incremento cada vez maior, de tal modo que a parcela de esforço financeiro dedicado à reabilitação supera já, em muitos Países da União Europeia, o dedicado à construção nova. Portugal, embora tardiamente em relação aos países mais desenvolvidos, tem seguido esta tendência, desde a década de 90 do século XX, se bem que a relação entre as verbas despendidas em conservação e reabilitação e as gastas em construção nova se mantenham em níveis muito mais baixos, sendo de 1/4 a 1/7, segundo Canha da Piedade (Canha da Piedade, 2006). Segundo Delgado Rodrigues (Delgado Rodrigues, 2006), em 2002 o Património construído histórico na

Europa deu origem a um valor de negócios de 3350 milhões de euros e sustentou 8 milhões de empregos.

Razões de vária ordem estão na origem desta tendência, que parece irreversível, de aumento da importância relativa da conservação e reabilitação em relação à obra nova: ambientais – a sustentabilidade da construção passa pela reutilização e pela conservação, sendo sabido que os recursos necessários para reabilitar um edifício são, em geral, muito inferiores – da ordem de 1/3 ou 1/4, segundo Canha da Piedade (Canha da Piedade, 2006) – aos necessários para a obtenção de áreas habitáveis idênticas através de construção nova; culturais – o património construído tem memórias e história que não podem ser destruídas de ânimo leve e são actualmente valorizadas por muitos, incluindo população residente e visitantes; legais – existem presentemente barreiras legais à construção nova em centros históricos e têm vindo a ser aperfeiçoados os diversos instrumentos de regulação da ocupação desses espaços, através dos Planos Directores Municipais (PDM), Planos de Urbanização, Planos de Pormenor, etc., assim como programas de financiamento (Paiva et al., coord., 2006); económicas – não raras vezes a reabilitação de um edifício antigo é menos onerosa que a sua demolição e reconstrução, com padrões de qualidade aceites como equivalentes; de durabilidade – os edifícios antigos, são, frequentemente, construídos com materiais e tecnologias mais duráveis que os modernos.

A necessidade de proteger e salvaguardar o património está considerada e enquadrada constitucionalmente, importando referir o disposto na alínea c) do nº. 2 do artº. 66 da Constituição da República Portuguesa, que estabelece que "é um dever fundamental do Estado classificar e proteger a paisagem e sítios, de modo a garantir a preservação dos valores culturais de interesse histórico ou artístico". O artº. 78 da Constituição prevê que "todos têm direito à fruição e criação cultural, bem como o dever de preservar, defender e valorizar o património cultural". A alínea c) do nº. 2 acrescenta ainda que "incumbe ao Estado, em colaboração com todos os agentes culturais, promover a salvaguarda e a valorização do património cultural, tornando-o elemento vivificador da identidade cultural comum" (Paiva et al., coord., 2006).

A Conservação e Reparação de edifícios antigos, sejam eles monumentos, edifícios classificados, ou, simplesmente, edifícios correntes que contribuem para manter o carácter de um centro urbano ou de um bairro histórico e preservar a sua atmosfera,

exige conhecimentos diversificados, que vão da ética da conservação – área de eleição de Arquitectos, Restauradores e Historiadores – às estruturas e aos materiais – onde Engenheiros, Químicos e Geólogos têm que ser ouvidos - e aos diversos mecanismos de degradação, de origem biológica, química, física... – que apelam para a contribuição de outros cientistas.

Trata-se, assim, de uma matéria verdadeiramente multidisciplinar, cujo estudo exige a confluência de esforços de um conjunto de especialistas de várias áreas científicas. O LNEC encontra-se particularmente bem equipado, do ponto de vista de recursos humanos científicos, para essa tarefa, por dispor de toda essa gama de especialistas, que ao longo do tempo têm desenvolvido as necessárias rotinas de trabalho em equipa, em projectos conjuntos.

Os revestimentos de paredes têm um papel relevante na conservação dos edifícios, pelas funções de protecção que desempenham e pela influência decisiva na imagem e na caracterização estética dos edifícios. Assim, a sua conservação e reparação, a manutenção do seu desempenho e do seu aspecto, são decisivas para a conservação do Património construído.

Um Programa de Investigação nesta área, com um Programa de Pós-graduação que permita concretizá-lo, centrado em aspectos relacionados com a área científica da Tecnologia e Física das Construções mas equacionando a contribuição das diversas valências necessárias aos objectivos a atingir, considera-se, portanto, de justificado interesse e viabilidade no LNEC.

Os estudos de investigação a desenvolver sobre revestimentos de paredes partirão, naturalmente, das exigências funcionais das paredes, as quais sofreram uma mudança significativa após o advento do betão, com a adopção, rapidamente generalizada, da estrutura de betão armado, com funções resistentes que assim foram retiradas às paredes. Esta diferença significativa de funções, a que se juntou a evolução dos materiais e soluções usadas a partir daí, implicou alterações na concepção e constituição dos revestimentos e portanto também nos modelos de conservação a adoptar.

A vastidão da temática da conservação de revestimentos de paredes e as diferenças funcionais apontadas levaram a limitar o tema deste Programa à conservação e reparação de revestimentos de edifícios antigos, entendendo edifícios antigos como

edifícios anteriores à época do betão armado, portanto com paredes acumulando a função resistente com as restantes funções, nomeadamente de protecção à água, ao ar e às intrusões. Em Portugal, a fronteira entre estas diferentes concepções de paredes é geralmente estabelecida na década iniciada em 1950, mas existe naturalmente um período de transição em que os dois tipos de concepções coexistem no mesmo edifício.



## **PARTE I - PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO**



# CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE PAREDES DE EDIFÍCIOS ANTIGOS. MÉTODOS E MATERIAIS

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 – Âmbito e justificação do programa

O presente Programa de Investigação foca a conservação dos revestimentos de paredes de edifícios antigos, entendidos como os edifícios anteriores à adopção da estrutura de betão armado.

As paredes exteriores dos edifícios variaram muito, na sua constituição e forma, ao longo dos séculos e de região para região. No entanto, podemos considerar que, desde a antiguidade até ao advento do betão armado, em meados do século XX, pelo menos em toda a Europa, tinham importantes características comuns: acumulavam a função resistente com a função de protecção em relação aos agentes climáticos e às acções externas em geral; os materiais usados na sua constituição eram mais porosos e deformáveis que os usados actualmente; e as capacidades de resistência mecânica e de protecção eram asseguradas essencialmente através da espessura.

Um aspecto particularmente importante está relacionado com a protecção contra a humidade. Com efeito, as paredes dos edifícios actuais são construídas de forma a impedir, tanto quanto possível, a penetração da água do exterior, razão pela qual se projectam cortes de capilaridade junto às fundações e se especificam revestimentos impermeabilizantes, caixilharia preferencialmente estanque e remates cuidados. Pelo contrário, o modelo de funcionamento das paredes antigas, mais espessas e porosas, sem cortes de capilaridade, admitia a entrada de água para o interior da alvenaria mas evitava uma permanência prolongada, procurando promover a sua fácil e rápida saída para o exterior (fig. 1). Assim, a ascensão capilar da água através das fundações (naturalmente, em quantidade moderada), fazia parte do

funcionamento normal da parede, que rapidamente promovia a sua expulsão por evaporação (Massari e Massari, 1993; Henriques, 2001; Appleton, 2003).

Os revestimentos que protegeram as paredes ao longo dos séculos, também eles muito diversificados técnica e formalmente (fig. 2), tinham igualmente importantes aspectos em comum e funções bem definidas, que lhes conferem grande importância na conservação dos edifícios antigos: têm um papel fundamental na protecção da alvenaria contra acções climáticas, choques mecânicos, contaminação ambiental; condicionam fortemente o aspecto final das construções; podem reforçar significativamente a resistência mecânica de alvenarias fracas – com efeito, segundo um estudo de Fernanda Carvalho (Carvalho, 1990), o revestimento com um reboco tradicional pode traduzir-se num acréscimo da ordem de 40% da tensão média de rotura à compressão de uma alvenaria de tijolo<sup>1</sup> – aspecto não desprezável, já que as paredes antigas têm, em geral, funções estruturais.

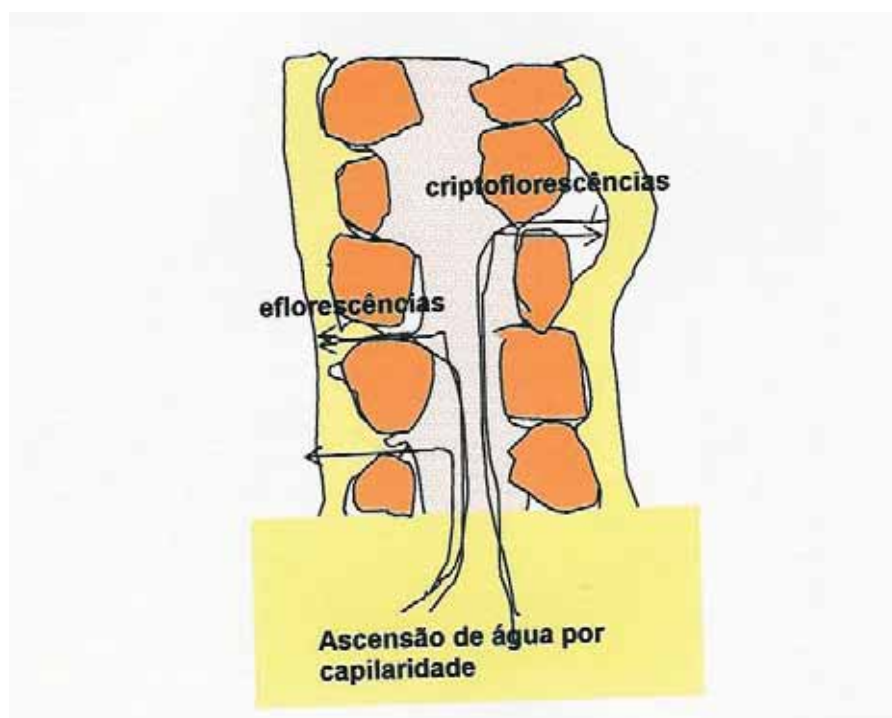


Fig. 1 – Representação esquemática de uma parede antiga de alvenaria de pedra irregular com o revestimento original (lado esquerdo) e com um revestimento novo mais impermeável (lado direito)

<sup>1</sup> Embora o estudo mencionado se refira a paredes de enchimento actuais, admite-se que esta conclusão possa ser extrapolada, com as devidas reservas, para alvenarias antigas.

Por estarem muito expostos a acções potencialmente destrutivas, os revestimentos são também dos elementos mais sujeitos à degradação.

O desconhecimento da constituição dos revestimentos e da tecnologia envolvida faz com que a opção mais comum para a sua reparação seja ainda a extracção de todo o revestimento e a sua substituição por uma solução actual, em geral não adaptada ao funcionamento da parede antiga (figs. 1 e 3). Muitas vezes, as soluções adoptadas, além de descaracterizarem os edifícios, são funcionalmente desadequadas e têm um desempenho e uma durabilidade inferiores aos pré-existentes (figs. 4 a 6). Ou seja, muitas vezes as intervenções de reabilitação são destrutivas do património, conduzindo à sua descaracterização e, frequentemente, à sua deterioração física.



a) Argamassa Romana das ruínas de Tróia (séc. I)



b) Reboco exterior da Sé de Évora (séc. XVII)



c) Revestimento de Hospital em Lisboa (séc. XIX)



d) Revestimento de marmorite do LNEC (séc. XX)

Fig. 2 – Argamassas portuguesas de várias épocas



Fig. 3 – Forte na zona de Lisboa: revestimento antigo (séc. XVII) e extracção



Fig. 4 – Reboco de cimento contribuindo para a retenção de água numa parede antiga



Fig. 5 – Reboco de cimento favorecendo a cristalização de sais higroscópicos no seu interior



Fig. 6 – Tinta polimérica dificultando a evaporação da água e conduzindo à degradação do reboco antigo

Pelo contrário, numa intervenção num edifício antigo, a primeira opção deve ser sempre a conservação. Esta opção é a mais correcta do ponto de vista da ética da conservação, como se reconheceu a partir da década de 1960, com os textos de Cesare Brandi e da Carta de Veneza em que se consagrou o princípio da intervenção mínima (Brandi, 1963; Venice Charter, 1964; Henriques, 1996) e, não nos esqueçamos, está hoje também relacionada com a ecologia por via da sustentabilidade. Mas, ao contrário do que se pretende fazer crer, é também, muitas vezes, a solução mais económica, desde que se conheçam bem as técnicas e materiais a usar. Finalmente, é quase sempre a que assegura maior durabilidade. Com efeito, é difícil especificar argamassas de substituição completamente compatíveis com os elementos pré-existentes – já que a compatibilidade depende de diversos factores – e, em simultâneo, com boas características de durabilidade.

Uma análise atenta do revestimento antigo mostra frequentemente que a degradação é superficial e que é possível evitar a substituição recorrendo, por exemplo, a operações de reparação pontuais.

Muitas vezes os rebocos antigos apresentam-se superficialmente degradados - com micro-fendilhação, manchas devidas a ataque biológico e à acção da humidade, lacunas resultantes de destacamentos pontuais – mas encontram-se fundamentalmente são: coesos, aderentes à base na maior parte da sua área e com uma resistência suficiente (fig. 7). Nesses casos é preferível mantê-los, com as reparações pontuais necessárias para restaurar as suas funções e recuperar o aspecto estético.

Noutros casos existem já algumas zonas com degradação profunda, com perda de aderência ou coesão deficiente, mas o valor artístico do revestimento, devido à existência de pinturas murais, de ornamentos, de vestígios de técnicas raras – fingidos, grafitos, esgrafitos – justifica, mesmo assim, a opção pela conservação, recorrendo a técnicas de consolidação (fig. 8).



Fig. 7 – Degradação superficial: manchas, sujidade, fissuração a) no revestimento de marmorite do LNEC e b) em castelo esloveno (séc. XVI-XVIII)

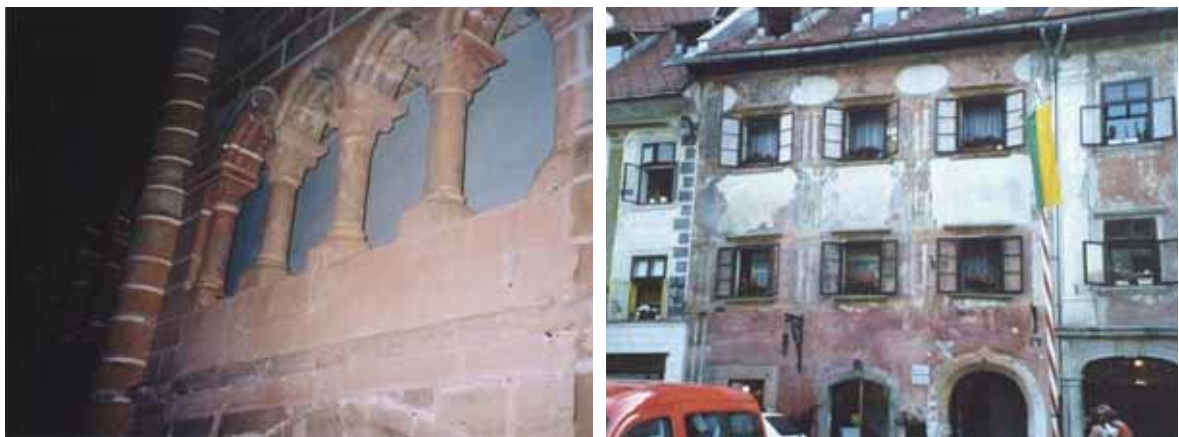


Fig. 8 – Revestimentos com valor artístico e técnico significativo, recorrendo a esgrafitos e fingidos a) na Sé de Évora e a pinturas murais b) em edifício medieval na Eslovénia

Quando a degradação do reboco atingiu um nível tal que não é possível conservá-lo integralmente, é necessário substituí-lo, parcial ou totalmente, mas por outro compatível com os elementos pré-existentes com os quais irá interagir.

A opção sobre a estratégia de intervenção a adoptar em revestimentos antigos deve basear-se em critérios científicos, tendo em conta o seu valor histórico e arquitectónico, o seu estado de conservação real e a disponibilidade de meios, entre outros factores. Hoje pensa-se que o edifício antigo vale, não só pela sua arquitectura formal, mas também pelo conjunto funcional e pelos materiais e tecnologia utilizados, os quais constituem, em si próprios, valores a preservar



(Aguiar, 2000). Também por razões práticas e económicas, é necessário garantir a durabilidade do conjunto.

Podem considerar-se, assim, quatro grandes opções possíveis de intervenção: i) a primeira deve ser a conservação do revestimento antigo através de operações de manutenção e de reparação pontual, nomeadamente através de limpeza e de tratamento (por exemplo com biocidas), da correcção de situações que podem dar origem a infiltrações de água, da reparação atempada das camadas de acabamento, da colmatação de fendas, etc.; ii) se tal for inviável, pode ser apropriada uma consolidação do revestimento existente, se o edifício ou revestimento tiverem valor elevado; iii) em terceiro lugar, pode encarar-se a substituição parcial em alguns paramentos, com recurso a revestimentos semelhantes aos antigos; iv) em último caso, quando as anomalias existentes são de severidade elevada, pode de facto ser necessário substituir a totalidade do reboco.

É de primordial importância que os materiais de reparação, de consolidação e de substituição sejam adequados, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação (Aguiar, 2000; Veiga et al, 2001).

Nestas condições, a selecção da estratégia de conservação e o planeamento das acções a executar implicam um conjunto de conhecimentos que abrangem: a parede e o revestimento antigo e respectivas tecnologias e materiais; a patologia e a avaliação do estado de conservação; os materiais e as técnicas de reparação e de execução compatíveis com a construção existente e com durabilidade adequada.

## **1.2 - Objectivos**

O principal objectivo do Programa de Investigação que se propõe é estabelecer fundamentos científicos sólidos para o projecto de conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos e para a execução da intervenção.

Os conhecimentos adquiridos e sistematizados ao longo do cumprimento do Programa deverão permitir:

- Um conhecimento abrangente e sistemático dos revestimentos antigos nacionais, dos materiais usados e das técnicas empregues.
- Fundamentar a escolha da estratégia de intervenção a usar, com base na avaliação criteriosa do estado de conservação do revestimento antigo e da importância da técnica utilizada<sup>2</sup>; nomeadamente, decidir sobre a viabilidade de manter o revestimento existente recorrendo a reparações pontuais e a operações de consolidação ou a necessidade de o remover, parcial ou totalmente, substituindo-o por outro.
- Definir a metodologia de reparação – materiais e técnicas a utilizar – tendo em conta o suporte, o revestimento e as características a preservar.
- No caso de opção pela remoção parcial ou total, seleccionar os revestimentos de substituição, tendo em conta critérios de compatibilidade funcional e estética e ainda aspectos de viabilidade de execução e de durabilidade.
- Estabelecer Planos de conservação e de manutenção periódica que limitem a deterioração e prolonguem a vida útil do revestimento (antigo ou de substituição) e, assim, também do edifício antigo.

Tais objectivos só poderão ser cumpridos se as Linhas de Investigação forem prosseguidas e os resultados obtidos divulgados no meio técnico de forma acessível e completa, principalmente ao nível dos projectistas – Arquitectos e Engenheiros – e dos promotores e responsáveis por intervenções em edifícios antigos ao nível nacional e local. Para tornar viáveis as estratégias delineadas é também indispensável uma consciencialização para estas matérias dos empreiteiros e dos fabricantes de materiais de construção, sem a contribuição dos quais mesmo os bons projectos dificilmente resultarão em boas obras e ainda menos serão economicamente viáveis.

---

<sup>2</sup> O Programa proposto explora os fundamentos técnico-científicos da decisão, deixando contudo espaço para os argumentos de ordem histórica e artística, que poderão reforçar, ou não, a importância da autenticidade e a consequente necessidade de conservação.

### **1.3 - Organização**

O Programa de Investigação proposto é organizado em seis capítulos, que incluem, além do capítulo 1 que consiste na Introdução apresentada; o capítulo 2 dedicado a uma síntese do conhecimento actual na área da conservação e reparação dos revestimentos antigos, constituída por uma análise dos conhecimentos e das linhas de investigação em curso a nível internacional, no que diz respeito à constituição dos revestimentos antigos, às estratégias de intervenção possíveis, às soluções de reparação viáveis, aos critérios de compatibilidade a ter em conta e aos planos de manutenção a implementar para prolongar a vida útil; o capítulo 3 contém uma breve apresentação dos Projectos de investigação em curso no LNEC neste domínio, em várias áreas científicas, que se considera justificada pela importância que neste momento assumem; o capítulo 4 é constituído por uma apresentação crítica dos problemas já tratados e dos problemas em aberto nesta área; o capítulo 5 é dedicado às quatro linhas de investigação propostas, que se descrevem uma a uma, com referência aos respectivos objectivos e justificação, apresentação da metodologia a usar, descrição das acções a desenvolver e planeamento dos meios necessários à sua execução. Finalmente, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões do programa proposto: referem-se os benefícios esperados, o tempo necessário para a sua realização e as aplicações previstas e justifica-se a sua viabilidade, apresentando-se ainda uma previsão das publicações a editar para divulgação dos resultados.



## **2. CONSERVAÇÃO E REPARAÇÃO DE REVESTIMENTOS ANTIGOS – ESTADO ACTUAL DOS CONHECIMENTOS**

### **2.1 - Introdução**

Uma intervenção eficaz sobre os revestimentos de paredes de edifícios antigos exige um bom domínio dos seguintes aspectos:

- a) Conhecimento aprofundado dos revestimentos existentes, da sua composição e do seu estado de conservação
- b) Conhecimento das estratégias de intervenção possíveis, domínio das técnicas existentes para implementar essas estratégias e apreensão de critérios científicos para fundamentar as opções a tomar
- c) Conhecimento de soluções de reparação eficazes, adequadas e duráveis e das regras para a sua aplicação
- d) Critérios de avaliação da compatibilidade, adequabilidade e durabilidade de soluções de reparação
- e) Planos de manutenção das soluções existentes

Sobre a generalidade destes temas tem existido investigação e sistematização de conhecimentos ao longo das últimas duas décadas, embora de forma intermitente e nem sempre dirigidas especificamente para os revestimentos de edifícios antigos.

O facto de estarem envolvidos neste tipo de estudos especialistas com formações diversas fomenta por vezes uma visão parcelar dos problemas que pode permitir aceitar como boas soluções que não têm em conta todos os ângulos de observação. Por exemplo, é possível escolher soluções esteticamente aceitáveis (a curto prazo), mas incapazes de cumprir adequadamente as funções pretendidas, ou, pelo contrário,

soluções que satisfazem todas as funções mas que prejudicam irremediavelmente a imagem e a autenticidade do monumento.

O trabalho a realizar, para ser eficaz, tem que contribuir para uma visão global do problema e das possíveis soluções.

## **2.2 - Revestimentos antigos**

### ***2.2.1 – Composição das argamassas de revestimento***

Um correcto planeamento da intervenção implica, naturalmente, um conhecimento detalhado da constituição dos revestimentos – da geometria e cronologia das várias camadas e da composição de cada uma.

Em geral os revestimentos de paredes exteriores antigos são constituídos por argamassas de cal aérea e areia, acabados com barramentos ou com pinturas de cal. Os revestimentos interiores têm constituição semelhante, mas frequentemente contêm gesso na sua composição (Veiga, 2006).

A terra, o gesso e a cal (figs. 9, 10 e 11) foram os três tipos de ligantes mais comuns na história da construção até ao final do século XVIII. A partir dessa época até aos nossos dias, vários tipos de cimentos naturais e, mais tarde, o cimento Portland, começaram a tomar, gradualmente, o lugar desses ligantes tradicionais (fig. 12) (Elsen, 2006).

A terra (de natureza argilosa) foi provavelmente o ligante mais antigo em argamassas, tendo sido identificado em construções na Turquia datadas de 6000 a.c., segundo Furlan, (Furlan, 1975), citado pelo investigador da Universidade de Lovaina J. Elsen (Elsen, 2006).

O gesso foi muito usado no Egipto dos faraós e noutros Países do Médio Oriente, mas também, na Idade Média, no Norte da Alemanha (Middendorf e Knofel., 1998, citados por Elsen) e em catedrais góticas da região de Paris, por exemplo em monumentos tão

importantes como as catedrais de Chartres e de Bourges, no início do século XIII (Livingston et al, 1991, citado por Elsen).



Fig. 9 – Construção em terra



Fig. 10 – Mhirab de antiga mesquita em estuque de gesso



Fig. 11 – Parede Pombalina com argamassa de cal aérea



Fig. 12 – Construção actual com estrutura e revestimentos baseados em cimento

A susceptibilidade à acção da água é um dos grandes problemas destes ligantes, pelo que os vestígios da sua utilização se encontram sobretudo em regiões secas.

A cal aérea é um dos materiais de construção mais antigos e um dos primeiros a ser usado em revestimentos exteriores. Conhece-se uma argamassa de cal no piso de um terraço na Turquia com data de construção estimada entre 12000 e 5000 a.c. (Von Landsberg, 1992, citado por Elsen). Os gregos (séc VII a.c. a II a.c.), depois os etruscos, deixaram vestígios da utilização da cal em revestimentos, nomeadamente em cisternas e túmulos e, mais tarde, os Romanos (séc. III a.c. a V d.c.), que, nas grandes construções que empreenderam por todo o seu Império, expandiram e aperfeiçoaram as argamassas

de cal tornando-as muito mais eficazes como revestimentos (Margalha, 1997). Dessa época ficou alguma documentação escrita, destacando-se a obra, ainda hoje muito citada, traduzida e adaptada em novas edições (Ruas, 1998), do Arquitecto romano Vitruvius, contemporâneo de Júlio César (séc. I a.c.).

As argamassas romanas atingiram elevada qualidade e durabilidade, como demonstram inúmeros exemplos de construções ainda existentes em que as argamassas de revestimento e de juntas sobreviveram a milénios de agressões, mantendo-se em bom estado de conservação até aos nossos dias. No nosso País têm sido estudadas, entre outras, as argamassas romanas de Tróia, Conímbriga, S. Cucufate e Mértola (Velosa et al., 2003; Velosa et al, 2005; Candeias et al, 2006; Adriano e Santos Silva, 2006b, Santos Silva et al, 2006) (figs. 2a, 13 e 14).



Fig. 13 – Argamassa Romana de Conímbriga



Fig. 14 – Argamassa Romana de Mértola

H. O. Lamprecht (Lamprecht, 1996) afirma mesmo: «*O betão romano é a invenção mais notável da história da engenharia*».

A professora sueca R. Malinowski (Malinowski, 1988) é ainda mais explícita: «*Apesar de séculos de uso e de exposição a condições ambientais adversas, estas argamassas e betões sobreviveram melhor que a pedra natural e o tijolo cozido encontrados nas mesmas estruturas e muitas vezes mesmo melhor que os betões modernos expostos a condições idênticas*».

Os árabes construíram também muito bem com cal e na Península Ibérica e, em particular, no nosso País, existem vestígios bem conservados dessas argamassas do



período árabe, podendo-se exemplificar com a Muralha de Tavira (séc. VII) (Veiga e Carvalho., 2001, Veiga et. al., 2004b) (fig. 15) e a Igreja Matriz de Mértola (antiga Mesquita) (Adriano e Santos Silva, 2006b).



Fig. 15 – Muralha de Tavira (séc. VII)

Na verdade, a maioria das argamassas antigas existentes na Europa são de cal aérea, seja porque os grandes construtores que foram os Romanos a utilizaram preferencialmente, seja também pela sua maior durabilidade e consequente capacidade de sobrevivência até aos nossos dias.

Existem ainda muitas interrogações sobre as razões pelas quais algumas destas argamassas – gregas, romanas e árabes – apresentam uma resistência às acções climáticas e uma durabilidade tão notáveis.

A adição de constituintes com características pozolânicas<sup>3</sup> contribuía certamente de modo decisivo para a grande durabilidade e resistência das argamassas e “betões” romanos, gregos e árabes (Davidovits, 1993; Ruas, 1998; Velosa e Veiga, 2001; Moroupoulou et al, 2003; Silva et al, 2005; Velosa, 2006). As adições pozolânicas

---

<sup>3</sup> Um material diz-se pozolânico ou latente hidráulico, quando, não tendo características hidráulicas por si só, tem a capacidade de se combinar com a cal aérea hidratada formando compostos hidráulicos. Estes produtos de reacção são em geral semelhantes aos silicatos e aluminatos de cálcio hidratados resultantes da hidratação da cal hidráulica natural.

usadas desde muito cedo – segundo alguns autores desde o século X antes de Cristo (Sabbioni et al, 2002) – eram diversas, incluindo pozolanas naturais – rochas piroclásticas vulcânicas existentes na Europa, como as da Baía de Nápoles, próximo da localidade de Pozzuoli que deram o nome a este tipo de produtos, mas também os tufos vulcânicos da ilha grega de Santorini, conhecidos por terra de Santorini e os do Reno, designados por *trass*; ou terras diatomáceas, como o *moler* dinamarquês ou outras rochas sedimentares como o *gaize* francês – e pozolanas artificiais, como o material cerâmico pulverizado, proveniente de tijolos, telhas ou artefactos cerâmicos. Nas zonas onde não dispunham de pozolanas naturais, os Romanos recorriam ao pó e fragmentos cerâmicos com os quais executavam o bem conhecido *Opus signinum*<sup>4</sup>, de cor rosada, o exemplo mais emblemático deste tipo de argamassas (figs. 2a, 13 e 14). Estas argamassas eram usadas em estruturas destinadas a conter água ou a permanecer imersas em água, como cisternas, banhos, aquedutos, canais, paredes enterradas, etc. As argamassas de cal com pó de tijolo continuaram a ser usadas no Sul da Europa, em revestimentos exteriores de paredes de localidades com elevada humidade relativa (como é o caso de Veneza) tomando em Itália a designação de *cocciopesto*.

Fibras naturais, como a palha e os pelos de animais, eram por vezes adicionadas à argamassa, para melhorar a resistência à fendilhação, principalmente em argamassas de terra.

A camada de acabamento dos edifícios mais importantes, ao longo dos tempos, foi muitas vezes colorida pela adição de diversos pigmentos, em pequenas proporções (inferiores a 5% da massa da cal): são exemplos as terras, os óxidos metálicos (de ferro, de zinco, de crómio), o carvão, etc. (Baronio e Binda, 1989; Aguiar, 1999; Scarzella, 1989; Gil Casal, 2007).

Sabe-se também que eram usados muitos adjuvantes orgânicos, como açúcar, vinho, clara de ovo, sangue, carvão etc. As argamassas hidrófugas eram obtidas por adição de gordura – azeite, outros óleos vegetais, óleo de baleia, banha, etc. – geralmente na água de extinção da cal viva (Santiago, 2000). Este processo foi recuperado pelo Arquitecto

---

<sup>4</sup> Argamassa de cal aérea com fragmentos e pó de tijolos ou telhas de argila caulínica cozida a temperaturas entre 600°C e 900°C, moídos, usada pelos Romanos quando pretendiam conferir grande impermeabilidade às construções: depósitos de água, tanques de salga, construções para banhos e termas, etc.

Quirino da Fonseca (Quirino da Fonseca, 1996) e é hoje utilizado numa cal fabricada em Portugal (Magalhães et al., 2006).

No entanto, muitos autores consideram que os principais factores para a durabilidade e bom comportamento destas argamassas se relacionam com a boa qualidade da cal e dos agregados usados, a proporção adequada da mistura, a granulometria dos agregados e o cuidado posto na preparação da argamassa: quantidade de água não superior à estritamente necessária, amassadura prolongada e completa, aperto da massa após a aplicação, aplicação em camadas finas, cura adequada (Rondelet, 1842, citado por Davitovits, 1993; Veiga, 1999; Cavaco e Veiga, 2003). Os bons métodos construtivos e a boa compactação são também enfatizados por Malinowski (Malinowski, 1979). Maravelaki (Maravelaki-Kalaitzaki et al, 2003) atribui a maior importância à natureza e tecnologia de produção dos constituintes primários: temperatura de cozedura do calcário, método de apagamento da cal, granulometria do agregado e ainda às proporções dos vários constituintes. Para a investigadora finlandesa Von Konow (Von Konow, 1997a e 1997b), a granulometria do agregado é o factor decisivo, ao definir a compacidade e a estrutura porosa da argamassa.

A cal aérea continuou a ser o ligante mais usado em argamassas de revestimento durante toda a Idade Média e início da Idade Moderna (figs. 16 e 17). Na verdade, a tecnologia das argamassas de revestimento parece não ter mudado muito desde os Romanos até aos séculos XVI-XVII, como refere Moropoulou (Moropoulou et al., 2003) e como se pode concluir também dos estudos realizados nos últimos anos sobre argamassas medievais portuguesas (Candeias et al, 2006; Adriano et al, 2005, Cruz et al, 2005; Adriano e Santos Silva, 2006; Cruz e Santos Silva, 2006; Adriano et al., 2007a e, 2007b). A cal hidráulica foi inventada no século XVI (Sabbioni et al, 2002), mas só nos séculos XVIII e XIX, embora se tenha mantido o uso predominante da cal aérea, começou a generalizar-se o uso da cal hidráulica natural e dos cimentos naturais (Cailleux et al, 2005) nas regiões onde existiam margas com proporções adequadas de calcário e argila. O cimento Portland, descoberto no início do século XIX, foi substituindo a cal, primeiro nos elementos resistentes da construção e mais tarde nos próprios revestimentos. Em Portugal, a predominância da cal aérea em revestimentos de paredes ainda na primeira metade do século XX é confirmada por vários casos analisados (Tavares e Veiga 2006a; Veiga et al, 2006; Veiga et al., 2007b e 2007d). Só a partir da década de 50 do século

XX começou a generalizar-se o uso de argamassas de cimento Portland em revestimentos de paredes em Portugal, alterando gradualmente o aspecto e a decoração das novas fachadas (fig. 18).



← Fig. 16 – Reboco da Sé de Elvas (séc. XVI)

↑ Fig. 17 – Reboco do centro histórico de Palmela



Fig. 18 – Revestimentos modernos com base em cimento a) monocamada e b) ETICS

No entanto, como se tem vindo a verificar, as argamassas de cimento Portland, adequadas para paredes modernas, são incompatíveis com a generalidade das construções antigas (figs. 4 e 5) e, ao contrário do que se pensou durante algum tempo,

têm menor durabilidade que as de cal, desde que estas sejam executadas e aplicadas correctamente.

Com efeito a cal da argamassa fresca, constituída por hidróxido de cálcio (solúvel em água), quando aplicada e exposta ao ar endurece, transformando-se lentamente em carbonato de cálcio (como que reconstituindo a rocha original de calcário), e tornando-se assim insolúvel em água e cada vez mais resistente, de forma gradual, do exterior para o interior. Se esta transformação se der em boas condições e se não existirem acções de degradação demasiado severas no período inicial, a argamassa pode atingir resistências consideráveis e elevada durabilidade. Mais do que isso, a argamassa de cal aérea pode ir sempre melhorando as suas características ao longo do tempo. Por isso é, frequentemente, um duplo erro substituir argamassas de cal aérea, mesmo que seja por outras argamassas de cal de constituição semelhante: por um lado a aplicação é normalmente menos cuidada, dada a falta de preparação da mão-de-obra actual para esse tipo de trabalho, e por outro perdem-se décadas de endurecimento (carbonatação) da cal.

### ***2.2.2 – Constituição dos revestimentos***

Os revestimentos exteriores dos edificios apresentam grande diversidade de constituição e de acabamento, tendo, naturalmente, variado ao longo dos séculos, com o tipo de suporte, com a localização das construções e com a respectiva tipologia.

A utilização da cal como ligante quase único implicava um modelo de constituição multicamada (figs. 2a e 2c), em que cada camada principal, obtida a partir de várias subcamadas, tinha funções específicas:

- Camadas de regularização e protecção: emboço, reboco e esboço.
- Camadas de protecção, acabamento e decoração: barramento (ou guarnecimento); pintura (em geral mineral) simples ou de ornamentação (fingidos, pintura mural).

Os paramentos a revestir eram deixados com uma superfície grosseira, para facilitar a aderência das massas. A composição do reboco variava com os materiais de suporte:

alvenaria de pedra de várias naturezas, alvenaria de tijolo maciço, taipa ou adobe, etc. Algumas pedras eram consideradas não aptas a ser rebocadas. Por vezes, nos suportes de tijolo, mais lisos, as juntas não eram preenchidas, para aumentar a rugosidade do paramento e os emboços dos revestimentos exteriores eram executados sobre as alvenarias com juntas abertas (Mateus, 2002).

As várias camadas de regularização e protecção dos revestimentos exteriores eram realizadas com diferentes traços e composições conforme a natureza dos materiais usados, as características do suporte e o fim a que se destinavam.

O conjunto das três camadas (emboço, reboco e esboço) devia ter uma espessura da ordem de 15 a 30 mm. Quando a irregularidade das alvenarias exigia espessuras superiores, recomendava-se a execução prévia de uma camada com encasques em que se usavam fragmentos de tijolo ou de pedra, ou “armava-se” a camada de emboço com “grandes agregados” (fragmentos de tijolo, telha ou pedra) ou com fibras vegetais (sisal) ou animais (pêlo de cabra ou crina, por exemplo) ou ainda com redes metálicas, para aumentar a resistência da camada e evitar a sua fácil desagregação com o tempo (Mateus, 2002). Na realidade, é frequente encontrarem-se revestimentos com espessuras muito superiores, conseguidas com várias subcamadas.

As camadas de regularização e protecção eram constituídas por argamassas de cal e areia, eventualmente com adições minerais e orgânicas. Normalmente, as camadas internas tinham traços mais ricos em ligante e granulometria mais grosseira que as externas; desse modo, a deformabilidade e porosidade iam aumentando das camadas internas para as externas, promovendo um bom comportamento às deformações estruturais e à água (fig. 19). Cada uma das camadas principais referidas podia, por sua vez, ser constituída por várias subcamadas. Com efeito, para a mesma espessura total, camadas finas em maior número permitiam uma melhor capacidade de protecção à água e uma durabilidade superior sem afectar a permeabilidade ao vapor de água, essa propriedade tão importante das argamassas antigas correntemente designada por “capacidade de respiração da parede” (Veiga, 2005).

O emboço era a primeira camada, a que estabelecia o contacto com a parede e que era, portanto, mais “grosseira”, com agregado de granulometria mais elevada; tinha como função principal proteger a base do paramento e constituir um estrato com geometria

adequada à aplicação das camadas seguintes, corrigindo os defeitos de construção existentes. Era aplicado sobre alvenaria limpa e humedecida, com uma espessura da ordem de 5 a 20 mm. Tinha uma dosagem semelhante à da argamassa de assentamento da alvenaria, do tipo 1 volume de cal em pasta : 2 a 4 volumes de areia média (Mateus, 2002; Margalha, 1998). Em geral era projectada com força e bem apertada com a colher ou a talocha, apresentando um acabamento áspero, para permitir a melhor aderência da camada seguinte. Depois deixava-se secar por períodos que podiam atingir três a seis semanas, para permitir a carbonatação da cal aérea antes da aplicação da camada seguinte.

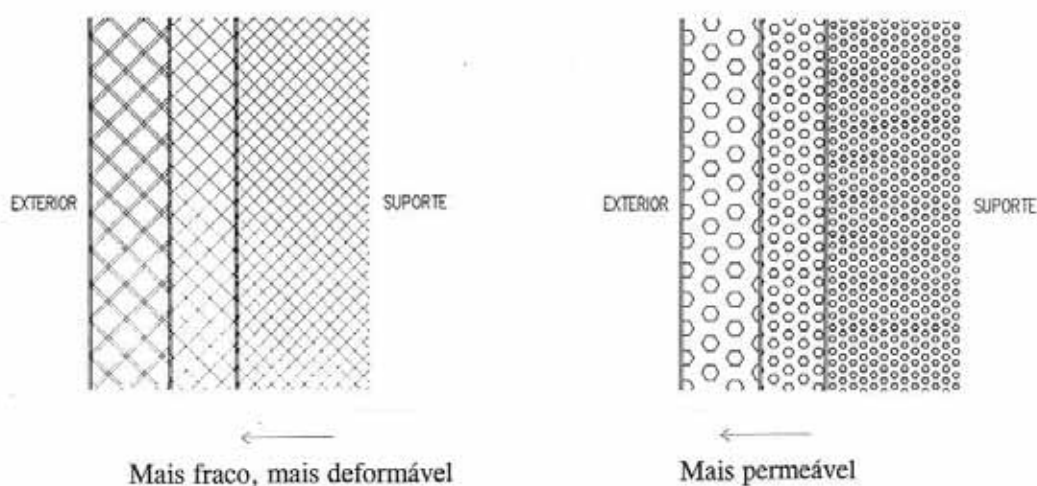


Fig. 19 – Representação esquemática do funcionamento de um revestimento multicamada no que se refere à deformação e ao transporte de água

O reboco era a camada intermediária, de regularização, que servia de base ao acabamento. As dosagens usadas nesta camada, tal como na seguinte, não eram muito diferentes da usada no emboço, embora em geral se aplicasse a regra da degressividade do teor de ligante, que implicava uma redução progressiva do ligante do interior (junto ao tosco) para o exterior. Era executada com espessura da ordem de 5 a 10 mm, com agregado mais fino que o emboço e era bem apertada sobre o emboço previamente humedecido.

O esboço era a camada de preparação para o acabamento, de pequena espessura, com granulometria fina e, em geral, de textura lisa. Por vezes esta camada, depois de seca, era picada, para proporcionar melhor aderência à camada seguinte (fig. 20). O esboço podia não existir, nomeadamente em edifícios mais pobres ou de construção menos cuidada, caso em que o acabamento final (textura do reboco e, normalmente, caiação) era aplicado directamente sobre o reboco.

Os traços (relações volumétricas) cal : areia a usar nas argamassas de revestimento, embora definidos empiricamente, eram norteados pelo princípio de obter a máxima compactidade, ou seja, pretendia-se que a quantidade de cal adicionada preenchesse por completo os vazios dos grãos de areia. Assim, o traço dependia da granulometria e da forma dos grãos da areia usada e mesmo da própria finura da cal. A máxima eficiência resultava de se usarem cals finas e areias bem graduadas e um pouco angulosas, que, assim, “encaixassem” bem entre si formando vazios menores. A proporção de 1:3, muito referida por Vitruvius (Ruas, 1998) é, em princípio, adequada para as misturas mais optimizadas, enquanto para areias de grãos muito arredondados (areias de rio) e granulometrias muito descontínuas poderia ser necessário um traço de 1:2 ou mesmo de 1:1,5.

Quando o suporte era húmido ou estava exposto a ambientes muito húmidos ou a água líquida (cisternas, paredes de caves, etc.), usavam-se argamassas hidráulicas, sendo essa hidráulicidade conferida por pozolanas naturais ou artificiais (Velosa e Veiga, 2001; Velosa, 2002).

Os barramentos de pasta de cal, também chamados antigamente guarnecimentos, foram muito usados como acabamento de superfícies exteriores e interiores, devido à sua durabilidade, capacidade de protecção e potencial decorativo. Eram tradicionais na Antiguidade Clássica, difundiram-se ainda mais no período Barroco, onde eram usados em quase todos os edifícios de grande expressão arquitectónica e continuaram a ser empregues frequentemente até ao início da segunda metade do século XX.

Os barramentos têm um papel importante na protecção do revestimento, verificando-se que, quando se destacam, se assiste a uma degradação rápida das camadas de reboco subjacentes (fig. 21). Constituídos por massas de pasta de cal com agregados muito finos (areia de estuque, pó de pedra, pó de mármore) e incorporando por vezes aditivos



(pó de tijolo, pó de carvão, pigmentos), eram aplicados sobre o esboço, humedecido previamente, em duas a três subcamadas, com finura crescente, das mais interiores para as mais exteriores.

A coloração do barramento podia ser realizada através da adição de pigmentos, que eram previamente dispersos em água e depois adicionados à massa. Em alternativa, o paramento podia levar uma pintura final, caso em que era dado ao barramento um acabamento muito liso, por vezes com recurso a um cuidadoso polimento e à aplicação de ceras.

A camada de barramento ou guarnecimento, aplicada com espessura da ordem de 2 a 5 mm, contrariava a regra da degressividade do teor de ligante já que as dosagens das camadas exteriores eram mais ricas em cal; no entanto, o aumento de flexibilidade era conferido pela redução da granulometria e da espessura das subcamadas, do interior para o exterior. Os agregados eram muito finos, de modo a obter-se uma camada lisa, compacta e bastante impermeável, resistindo assim a acções de choque e atrito, às infiltrações de água da chuva e à absorção higroscópica de humidade do ar.

Eram usadas proporções volumétricas de 1 (cal em pasta) : 0,75 a 1 (areia muito fina ou pó de pedra) (Mateus, 2002).



Fig. 20 – Camada intermédia picada para aderência da camada seguinte de reboco



Fig. 21 – Degradação do acabamento em edifício Pombalino, acelerando a degradação das camadas interiores do revestimento

### ***2.2.3 – Aplicação dos revestimentos***

Quando as alvenarias eram de pedra irregular ou não eram novas, procedia-se à escovagem e lavagem do paramento, para o limpar de fragmentos soltos e de poeiras. Seguia-se o enchimento, ou “encasque” das reentrâncias, com casquilho de tijolo ou telha ou com cascalho envolvidos em argamassa, idêntica à usada no assentamento das paredes. Assim, evitavam-se grandes variações na espessura da primeira camada e criavam-se zonas de encaixe que facilitavam a ligação (Mateus, 2002).

Só depois destas argamassas de preparação do suporte estarem bem secas se iniciavam as operações de aplicação dos revestimentos propriamente ditos. Essa aplicação era feita do interior para o exterior do edifício e de cima para baixo.

As principais operações eram as seguintes: i) desempoeiramento do paramento; ii) humedecimento da superfície; iii) aplicação do emboço, “chapado” contra o suporte com a trolha e a ajuda da colher de pedreiro; iv) após secagem do emboco, aplicação do reboco.

O paramento onde se aplicava cada camada era humedecido antes da aplicação seguinte.

Nas construções mais cuidadas era muito usada a técnica de pontos e mestras, em que se aplicavam porções de gesso em fiadas verticais (pontos), afastados cerca de 2 m na horizontal e na vertical, já com a espessura aproximada que se pretendia para o revestimento. Os pontos eram depois unidos com faixas verticais de argamassa (mestras), bem apertadas à colher, fazendo a espessura exacta pretendida. Aplicava-se em seguida o reboco com a colher, retirando a massa excedente com o roçar de uma régua passada entre as mestras. Os revestimentos que deviam garantir boa impermeabilização eram batidos e apertados para compactação. Os rebocos, aplicados em várias subcamadas, podiam receber logo o acabamento final, segundo técnicas muito diversas e dando origem a texturas muito variadas ou receber um barramento ou guarnecimento, também em várias camadas aplicadas à talocha.

#### **2.2.4 – Acabamentos e texturas**

Os diversos tipos de acabamentos e de texturas executados directamente nos rebocos e superfícies dos revestimentos – liso talochado, raspado, polido, riscado, picado, tirolês, escocês, etc. – proporcionavam às paredes um aspecto diversificado, exprimindo diferentes intenções estéticas, mas tinham também implicações funcionais.

Alguns destes acabamentos ainda hoje são usados, por vezes sob formas simplificadas; outros caíram em desuso em Portugal, pela dificuldade ou morosidade de execução ou por alteração do gosto, mas continuam, em muitos casos, a usar-se noutros países.

Originalmente, eram executados com argamassas de cal e areia, passando posteriormente a ser realizados também com recurso a argamassas de cimento (Veiga et al., 1996).

Outras técnicas decorativas, como os fingidos – pinturas e texturas no reboco de forma a imitar outros materiais – os esgrafitos – efeitos em baixo relevo executados nos rebocos, geralmente recorrendo a contrastes claro-escuro – os *stuccos* – elementos ornamentais em alto relevo – foram amplamente usados em Portugal (Aguiar et al., 1998; Aguiar, 1999; Veiga et al., 2004b) (fig. 22)

As pinturas de cal, com base em leite de cal de diferentes concentrações, geralmente aditivado com caseína, óleos ou colas, conforme o objectivo pretendido, eram o acabamento mais simples e podiam ser aplicadas a seco – sobre o reboco ou o barramento endurecido – ou a fresco – sobre o reboco ou o barramento fresco (não carbonatado). As técnicas a fresco exigiam grande perícia, porque a pintura tinha que ser feita antes da secagem da base, mas resultavam em durabilidades melhoradas e cores mais vivas.

### ***2.2.5 – Técnicas de identificação e caracterização química e mineralógica dos revestimentos***

Conhecer a composição dos revestimentos antigos dos edifícios históricos é de primordial importância, quer do ponto de vista da História e da Ciência, para registo e estudo da arte de construir e da sua evolução, quer para objectivos mais práticos de fundamentar a política de conservação a implementar e servir de base às soluções de reparação ou de substituição a usar.

Como refere o investigador da Universidade de Lovaina J. Elsen, as diferentes perspectivas do conhecimento desses revestimentos – a da conservação, cujo objectivo é a reparação e restauro dos revestimentos, a arqueológica, que pretende analisar a cronologia e proveniência dos materiais de base para extrair informações sócio-económicas, e a investigação fundamental de materiais que se dirige ao avanço dos conhecimentos sobre os processos de formação e evolução dos materiais complexos que são as argamassas – determinam diferentes metodologias de análise, focalizadas no objectivo perseguido (Elsen, 2006).

Do ponto de vista da conservação, que é o foco deste trabalho, é necessário, em primeiro lugar, identificar o número de camadas e a espessura de cada uma e, tanto quanto possível, obter informação sobre a técnica de aplicação, a partir da observação cuidadosa das amostras. Para isso recorre-se a um processo de arqueologia vertical (identificação da cronologia das camadas relacionando a sequência em que se apresentam com outros dados existentes, nomeadamente históricos) e usa-se a análise estratigráfica, que consiste na observação de um perfil completo do revestimento, após tornar visíveis as várias camadas existentes entre o suporte e o exterior, com a ordem e espessura de aplicação originais. Pode ser realizada *in situ*, através de sondagens em profundidade do revestimento, em locais onde este se encontre intacto (fig. 23); em alternativa, ou complementarmente, a análise estratigráfica pode ser feita em laboratório, o que implica a extracção de amostras através de corte transversal abrangendo toda a espessura do revestimento, a impregnação desta com uma resina epoxídica de elevada fluidez e grande transparência, o polimento da face que exhibe a sobreposição das várias camadas e, finalmente, a sua observação com uma lupa

binocular (figs. 24 e 25). Através desta técnica um olhar treinado pode obter muita informação sobre a estrutura de camadas do revestimento: número de camadas, espessura de cada uma, informação sobre a textura, a porosidade e a cor de cada camada. Alguns elementos, como pigmentos, fibras e inclusões diversas, assim como determinadas manifestações patológicas, como colonização biológica ou sujidade, podem também distinguir-se. Esta técnica possibilita ainda a identificação de intervenções sucessivas; com efeito quando, como é comum em edifícios antigos em que os revestimentos tinham funções sacrificiais, há aplicações de novos revestimentos sobre os mais antigos, a estratigrafia permite, em geral, distingui-las (através, por exemplo, da identificação de camadas de acabamento e de decoração) e analisar as diferenças entre as várias aplicações (Tavares et al., 2005b).

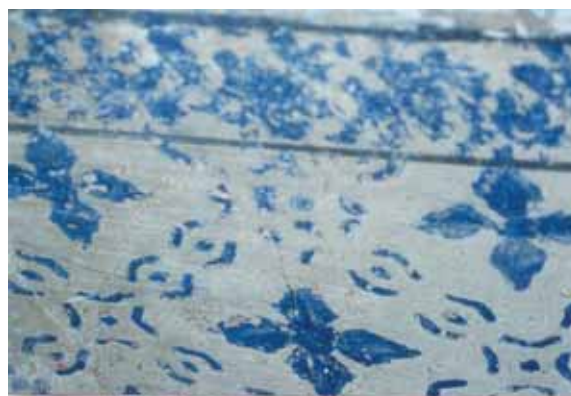


Fig. 22 – Fingidos e esgrafitos decorativos



Fig. 23 – Corte estratigráfico in situ



Fig.24 – Amostras impregnadas com resina para estudo estratigráfico



Fig. 25 – Observação de amostra estratigráfica à lupa binocular. Reboco e diversas camadas. Ampliação 15x

Esta técnica foi usada por Philipot e pelo casal Mora (Mora et al., 1977) e teve contributos posteriores de investigadores ligados ao ICR e ao ICCROM, como M. Forti, G. Torraca e J. M. Teutónico, citados por Aguiar (Aguiar, 1999) e de outros investigadores, como Giulia Baronio e Luigia Binda (Baronio et al., 1996a).

Em Portugal, foi usada no Bairro do Castelo (Aguiar et al., 1996), Palácio de Queluz (Aguiar, 1999), centro histórico de Sintra (Pincho, 1986), Forte de S. Bruno (Veiga e Aguiar, 1996; Veiga et al., 2004b) Sé de Évora (Tavares et al., 2005c) e Hospital Miguel Bombarda (Tavares e Veiga, 2006a), entre outros.

Após a identificação das várias campanhas de intervenção e das camadas que compõem cada uma, é necessário estudar cada camada, identificando a sua composição e as suas características físicas.

O estudo da composição das argamassas antigas é difícil e tem desafiado, nas últimas décadas, inúmeros investigadores cujos esforços conduziram a um constante progresso na melhoria das técnicas utilizadas. Com efeito, as argamassas antigas são materiais compostos complexos, com uma variedade quase inesgotável de constituintes inorgânicos e orgânicos e são também materiais dinâmicos, já que os seus constituintes continuam a interagir entre si e com o ambiente durante toda a vida.

Até à década de 1970-1980 a caracterização de argamassas históricas baseava-se principalmente na análise química tradicional. A interpretação dos resultados obtidos com estas técnicas era contudo difícil ou mesmo impossível se não se conhecessem os diferentes componentes de base. Posteriormente, a Difracção de Raios X e a Microscopia Óptica adquiriram um papel muito importante (Elsen, 2006).

Muito trabalho tem sido feito nas últimas duas ou três décadas, a nível internacional – nomeadamente Itália, Reino Unido, Grécia, Áustria, mais recentemente em Espanha e nos Estados Unidos – e também a nível nacional, para aperfeiçoar as técnicas de identificação e caracterização química e mineralógica dos revestimentos antigos de edifícios históricos. Contudo, os materiais são complexos e apesar da grande evolução das técnicas necessárias – Difracção de Raios X (DRX), Análise Térmica (AT), Fluorescência de Raios X (FRX), Microscopia Electrónica de Varrimento (MEV), Cromatografia Iónica (CI), Espectrofotometria de Absorção Atómica (EAA), entre outras – o processo é relativamente lento e o conhecimento obtido é sempre incompleto. Assim, actualmente é possível saber quais os componentes minerais básicos de uma argamassa normal – ligantes aéreos e hidráulicos e agregados – e quantificar as suas proporções actuais aproximadas, embora exija equipamento caro e técnicos especializados. No entanto, alguns componentes menos usuais, principalmente os que sofrem evolução contínua ao longo de toda a sua vida útil, como alguns materiais pozolânicos, exigem grande experiência e alguns dados iniciais sobre a sua existência, para serem detectados e identificados. As adições orgânicas são difíceis de detectar e identificar, até porque na maioria dos casos já terão desaparecido os seus vestígios.

No caso das argamassas de cal aérea, a quantificação aproximada da relação cal/agregado é feita, geralmente, por dissolução com ácido, usando-se, normalmente, uma solução de ácido clorídrico que ataca o carbonato de cálcio e deixa um resíduo constituído pelo agregado não-calcário e por outros elementos insolúveis, como argila ou constituintes pozolânicos. Alguns investigadores usam outros ácidos: acético (Velosa, 2006) ou nítrico (Longoret e Xavier, 1983). A existência de agregado calcário, que é solúvel em qualquer dos ácidos referidos, não é detectável por este método (Jedrzejewska, 1960; Teutonico, 1998; Groot et al., 2000) sendo necessário recorrer a outras técnicas. Para este efeito pode usar-se a microscopia óptica, que permite identificar o tipo de agregado, de ligante e de aditivos e ainda avaliar a forma dos poros e de eventuais fissuras. Um sistema de análise de imagem associado ao microscópio amplia consideravelmente as possibilidades desta técnica, permitindo quantificar aproximadamente a relação ligante / agregado e o teor de vazios (Schouenborg et al., 1993; González, 1994).

O agregado separado pela dissolução ácida pode ser caracterizado através de análise granulométrica, que se reveste de grande importância pela influência que tem na estrutura porosimétrica e, portanto, no desempenho e durabilidade da argamassa.

A DRX, baseada na difracção de Raios X pelos cristais, é uma das técnicas mais importantes, permitindo identificar os componentes mineralógicos presentes na forma cristalina (Braga Reis, 1994; Silva et al., 2005). Em combinação com a AT permite estudar o tipo de ligante e detectar a presença de certos constituintes pozolânicos e de produtos de alteração. Não permite, no entanto, observar a relação interespaçial destes componentes na argamassa (Groot et al., 2000; Veiga et al, 2001), que é observável pela microscopia óptica.

A AT agrupa um conjunto de técnicas que recorrem à temperatura para medir diferentes propriedades físicas e a partir daí identificar produtos. A Termogravimetria (ATG) e a Análise Térmica Diferencial (ATD) são, neste contexto, os mais importantes destes métodos (Santos Silva, 1994; Silva et al., 2005). A ATG baseia-se nas variações de massa da amostra com o aumento constante de temperatura, já que essas variações são representativas de transformações químicas associadas a certos constituintes (por ex. a perda de água de hidratação dos minerais argilosos e de alguns compostos hidráulicos verifica-se entre os 100°C e os 500°C, enquanto a descarbonatação do carbonato de



cálcio ocorre entre os 500°C e os 1000°). Trata-se, portanto, de uma técnica quantitativa. A curva obtida por ATD representa a variação de energia e dá informação qualitativa sobre os constituintes que produzem as variações de massa, por comparação com materiais de referência (Chiari et al., 1992 e 1996). Estas técnicas não permitem identificar componentes desconhecidos, porque as suas propriedades físicas não serão reconhecíveis, mas permitem quantificar os teores de cal e de alguns compostos hidráulicos.

A FRX permite a determinação quantitativa da composição química (óxidos) da argamassa.

A CI e a EAA podem ser aplicadas para obter informação química, como o teor de sais solúveis e de álcalis. Estas técnicas são, portanto, particularmente úteis para estudar produtos de degradação.

A FTIR (Termografia de Infravermelho) é um método usado para identificar compostos não-cristalinos, mesmo que existentes em pequena quantidade, permitindo, assim, pesquisar a presença de adjuvantes orgânicos – que no entanto nas amostras antigas são difíceis de encontrar, porque provavelmente já desapareceram com o tempo – e de adições não-cristalinas.

A análise petrográfica, através da execução de lâminas delgadas e da sua observação ao microscópio óptico com luz polarizada e ao microscópio electrónico de varrimento, é uma ferramenta muito útil para o estudo de argamassas de revestimento (Velosa, 2006; Elsen, 2006; Santos Silva, 2006).

Recentemente, o Microscópio Electrónico Ambiental, ao possibilitar a análise de materiais sob a forma líquida ou com elevados teores de humidade, alargou o campo da investigação à forma e relações interesaciais das argamassas em pasta, o que está já a ser usado para o estudo da cal em pasta e das argamassas com este ligante (Margalha et al., 2006; El-Turki et al., 2006).

As técnicas a utilizar na análise dependem das perguntas a que é mais importante responder em cada caso e, naturalmente, das disponibilidades de cada laboratório, em termos de equipamentos, de conhecimentos de base e de pessoal treinado.

Silva e outros (Silva et al., 2005), na análise de argamassas do Coliseu de Roma (80 a.c.) e de uma cisterna romana (séc. II) usam a Microscopia e a DRX num primeiro passo, para uma rápida caracterização dos principais constituintes, através da identificação das fases cristalinas presentes em maior quantidade, combinada com a Microscopia para análise da morfologia desses constituintes. Através da FTIR obtém informação sobre os constituintes presentes em pequenas quantidades, incluindo fases não-cristalinas, como os silicoaluminatos hidratados. A ATG permite-lhe quantificar fases voláteis, como o CO<sub>2</sub> e a água, que por sua vez conduzem à quantificação dos principais compostos identificados previamente.

Moropoulou (Moropoulou et al., 2003) estuda 50 amostras dos períodos Otomano e Bizantino recorrendo a DRX e ATG/ATD e em seguida a uma caracterização física e mecânica, incluindo Porosimetria por Intrusão de Mercúrio (MIP) e resistência à tracção.

Maravelaki-Kalaitzaki e outros (Maravelaki-Kalaitzaki et al., 2003) caracterizam argamassas antigas da ilha de Creta com ligantes diversos – cal aérea, cal hidráulica, cal e pozolanas, cal e pó de tijolo – usando lâminas delgadas para uma caracterização petrográfica e mineralógica, DRX, ATG e DTG para identificação e quantificação dos principais compostos, FTIR, para identificação de sais e compostos orgânicos e análise química, incluindo ataque ácido para separação e quantificação da proporção ligante-agregado. Preocupam-se também com a caracterização mecânica, através de ensaios em laboratório e *in situ*.

Palomo e outros (Palomo et al, 2004) propõem uma metodologia baseada, numa primeira fase, nos seguintes passos: análise visual; microscopia óptica; identificação do agregado e estudo do ligante. Na fase seguinte, o estudo do ligante segue uma metodologia que permite distinguir a cal aérea sem pozolanas (matriz carbonatada sem indicadores de pozolanas), a cal aérea com pozolanas (matriz carbonatada com indicadores de pozolanas, ou seja com fases mineralógicas típicas dos tufos vulcânicos que constituem as pozolanas) e os ligantes hidráulicos, nomeadamente cal hidráulica ou cimento (matriz não carbonatada sem indicadores de pozolanas).

No LNEC, foi desenvolvida uma metodologia própria baseada nas várias técnicas disponíveis, que tem vindo a ser complementada e actualizada (Santos Silva, 2002;

Bessa Pinto e Santos Silva, 2003). Destaca-se o trabalho de Santos Silva, do actual NMM/DM (Núcleo de Materiais Metálicos / Departamento de Materiais), que tem sido o grande implementador desse trabalho, através dos seus estudos e dos trabalhos de estágio e de Mestrado que tem coordenado ou em que tem colaborado. A metodologia trabalhada por este investigador é, em síntese, a que se apresenta no esquema da fig. 26 (extraído de Santos Silva, 2002).

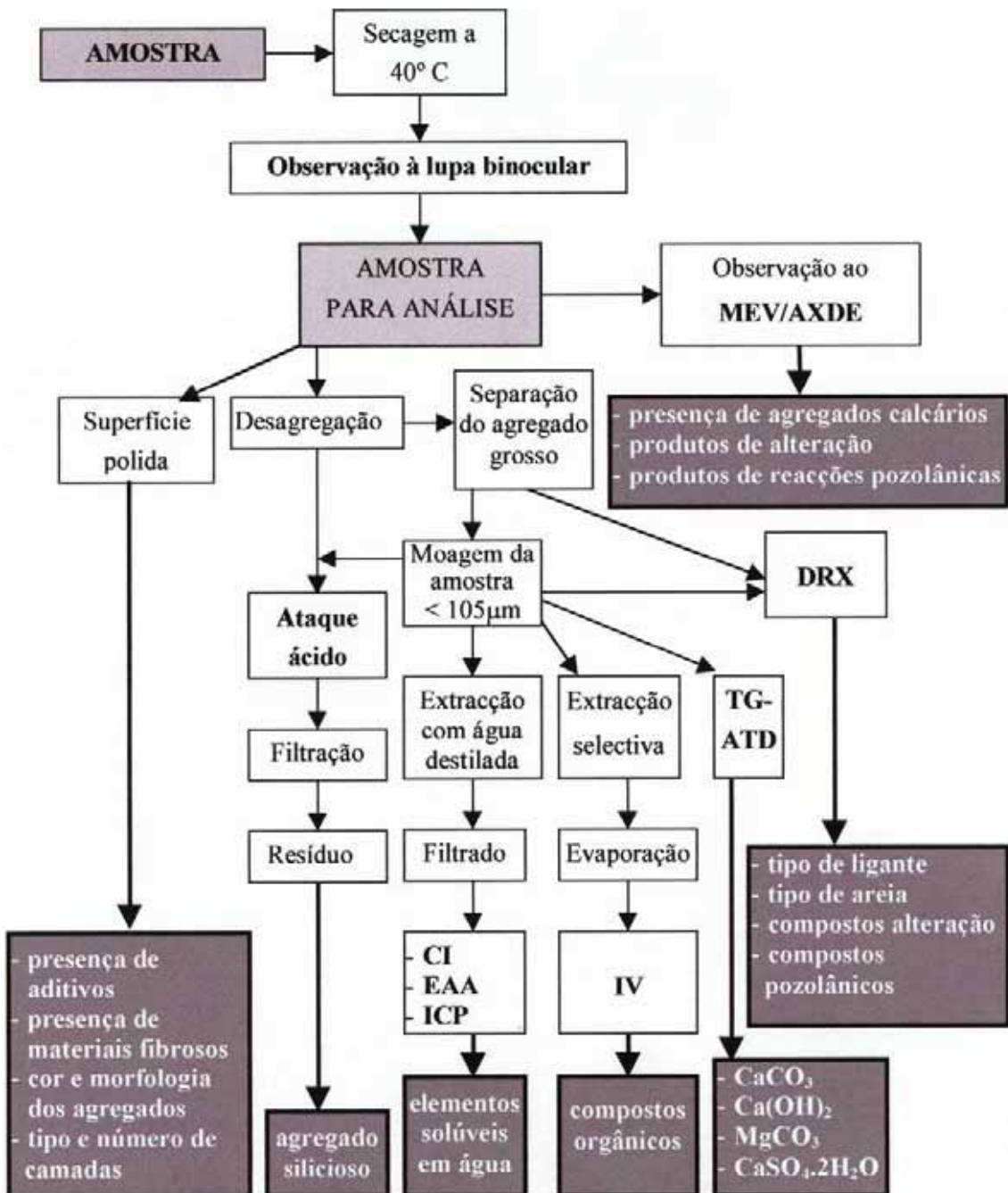


Figura 26 – Esquema da metodologia usada no LNEC para determinação da composição de argamassas antigas (Santos Silva, 2002)

Os estudos realizados nos últimos anos com esta metodologia, no LNEC e, por vezes, com colaboração de algumas Universidades, sobre argamassas dos períodos romano, árabe, medieval pós-árabe e moderno e do início do século XX mostraram também os mesmos tipos de argamassas que no resto da Europa: argamassas de cal aérea com traços ponderais variáveis entre 1:1 e 1:5; adição de pó e fragmentos de tijolo ou de pozolanas naturais em argamassas romanas e em argamassas do final da Idade Média; cal dolomítica no final da Idade Média em algumas zonas do País.

Essas metodologias têm vindo recentemente a ser difundidas e complementadas noutros núcleos de investigação em Portugal – Universidade de Évora, Universidade de Aveiro, Instituto Politécnico de Tomar, etc. – através da divulgação científica dos trabalhos, da orientação de estágios e de Dissertações e de Projectos de Investigação conjuntos com trabalhos realizados nesta área (Velosa et al., 2005; Adriano et. al., 2005; Candeias et al., 2006; Paiva et al., 2006; Velosa et al., 2006, entre outros). No seu conjunto, estes trabalhos encontram-se a par dos avanços internacionais.

### ***2.2.6 – Técnicas para caracterização física e mecânica dos revestimentos***

Embora o conhecimento da composição química e mineralógica das argamassas seja essencial para a execução de argamassas de substituição ou de reparação semelhantes, ele não é suficiente, pois existe um sem-número de factores – tais como o modo de preparação, a cura, a interacção com o suporte e a evolução ao longo do tempo – que influencia decisivamente a estrutura física da argamassa e por isso o seu comportamento e a sua durabilidade. Portanto, é também importante a caracterização física, nomeadamente a determinação da estrutura porosa e do comportamento global da argamassa.

Ao contrário do que possa parecer à primeira vista, não é fácil caracterizar rebocos antigos dos pontos de vista físico e mecânico. Com efeito, geralmente apenas é possível extrair amostras de pequena dimensão, irregulares e quase sempre friáveis, o que impossibilita a utilização da maior parte dos métodos normalizados de ensaio. Para resolver esse problema, têm-se vindo a definir e a validar métodos de ensaio e a explorar as potencialidades de ensaios *in situ* já usados para outros materiais.

Sintetizam-se a seguir as técnicas estudadas e os objectivos que permitem atingir, até ao momento.

O volume e a estrutura dos vazios – diâmetros e formas – é um aspecto de grande importância no comportamento da argamassa, influenciando decisivamente o comportamento à água – principalmente os poros capilares – e o comportamento mecânico – fundamentalmente os macroporos. Os seguintes três valores são importantes para a descrição da estrutura porosa dos materiais porosos: a porosidade total, a distribuição da dimensão dos poros e a superfície específica.

Os estudos realizados revelaram uma boa correlação entre a porosidade total e a resistência mecânica (Mosquera et al., 2002; Moropoulou et al., 2003), que pode ser descrita aproximadamente pela seguinte regra de proporcionalidade inversa:  $S = S_0(1-P)^n$ , em que S é a resistência do material,  $S_0$  é a resistência de um material idêntico com porosidade nula, P é a porosidade total e n é um expoente característico do tipo de material, que toma o valor 3 para o cimento (Papayianni e Stefanidou, 2006). Demonstrou-se também que, para argamassas com distribuição porosimétrica idêntica, o aumento da porosidade total se traduz num incremento da permeabilidade ao vapor de água, mas que também o aumento da dimensão dos poros origina um aumento da permeabilidade ao vapor (Mosquera et. al., 2002). No que diz respeito à absorção de água por capilaridade é também sabido que a maior porosidade e a maior dimensão dos poros aumentam a absorção de água total e também a taxa de absorção de água (medida pelo coeficiente de capilaridade) das argamassas (Rato, 2006; Arandigoyen, 2006), enquanto os poros de menores dimensões originam maiores pressões e portanto maiores alturas de capilaridade ascendente.

Com efeito, a estrutura porosa condiciona as mais importantes propriedades das argamassas de edifícios antigos e é um dos mais significativos indicadores do seu comportamento e, portanto, das características a procurar em argamassas de substituição.

O estudo da estrutura porosa tem que ser realizado em laboratório mas as amostras a extrair podem ser de pequena dimensão e não estão sujeitas a exigências especiais de forma.

A porosidade total (aberta, ou acessível à água) é relativamente fácil de determinar através da introdução sob pressão de um líquido (normalmente água) nos poros abertos de uma amostra previamente sujeita a vácuo (RILEM, 1980). Admite-se que o volume de líquido que penetra corresponde ao volume de vazios acessível total, ou seja à porosidade aberta do material.

A distribuição da dimensão dos poros é de mais difícil avaliação. Uma análise qualitativa e semi-quantitativa da forma dos vazios existentes na argamassa pode ser feita por técnicas ópticas, recorrendo ao Microscópio Óptico ou ao MEV, usando amostras cortadas, polidas e impreganadas de resina com um pigmento que permite detectar os vazios (Rato, 2006). Os métodos mais quantificados recorrem à introdução de fluidos sob gamas de pressão previamente estudadas e calibradas associáveis a determinadas gamas de diâmetros de poros. Estes métodos baseiam-se no princípio físico que determina que a pressão necessária para provocar a intrusão de um líquido não-molhante num capilar de secção circular é inversamente proporcional ao diâmetro do capilar e directamente proporcional à tensão superficial do líquido e ao ângulo de contacto do líquido. A Porosimetria por Intrusão de Mercúrio – frequentemente designada na literatura por MIP (Mercury Intrusion Porosimetry) – é ainda a técnica mais usada em argamassas e permite quantificar aproximadamente os volumes de poros com várias gamas de diâmetros, entre 0,006 e 360 micrómetros (Fitzner, 1994, citado por Rato, 2006), recorrendo a pressões entre  $10^{-3}$  e 400 MPa (Mosquera et al., 2002); embora na prática esta técnica se revele pouco fiável para os poros com dimensões superiores a 100 micrómetros, ela cobre a gama dos poros capilares ou pelo menos uma parte significativa desses poros, que se situam entre 0,1 e 10 micrómetros, segundo Sousa Coutinho (Sousa Coutinho e Gonçalves, 1994), entre 0,1 e 100 micrómetros segundo Elsen (Elsen, 2006) e entre 0,1 e 1000 micrómetros segundo Kopfler, citado por Vasco Rato (Rato, 2006) (existem ainda mais definições diferentes, como a da DIN 66131 e a de Buenfield (Buenfield, 1999/2000), citado por Magalhães (Magalhães et al., 2004)). A principal desvantagem desta técnica, que tem levado ao seu abandono em muitos laboratórios, é o risco para a saúde dos operadores devido à possibilidade de contaminação com mercúrio; é também referida a possibilidade de destruição das paredes dos capilares de argamassas de cal, principalmente se forem de resistência reduzida. A substituição do mercúrio por água tem vindo a ser experimentada, embora este líquido não verifique a condição de não-molhante; foi mesmo desenvolvido um

método, pela investigadora do LNEC Elda de Castro, publicado em 1974 (Castro, 1974) e adoptado em Recomendações RILEM (RILEM, 1980). No entanto não se conhecem resultados experimentais publicados com essa técnica. Todos os métodos baseados na intrusão de líquidos têm também a desvantagem de estarem dependentes da acessibilidade dos poros, ou seja, os poros que só são acessíveis através de poros de menores dimensões só são preenchidos com pressões mais elevadas e aparecem, portanto, mascarados com menor diâmetro na quantificação.

A Adsorção de Azoto, ao avaliar a superfície específica através do método de Brunauer-Emmet-Teller (BET) e por comparação com os valores obtidos pela MIP, permite estudar uma fracção porosa de menor dimensão, com diâmetros entre 0,001 e 0,2 micrómetros (Moropoulou et al., 2001; Fitzner, 1994, citado por Rato, 2006), cuja influência em aspectos como a permeabilidade ao vapor de água e as condensações internas se encontra em estudo.

A complexidade da estrutura porosa das argamassas históricas torna muito difícil a interpretação dos resultados obtidos em ensaios. Com efeito, a argamassa consiste numa matriz porosa envolvendo agregados com diferentes porosidades, formando por sua vez vazios diferentes nas zonas de interface e ainda sujeitas, no seu conjunto, a fissuração, vazios resultantes de ar introduzido ou defeitos na mistura ou na aplicação. As variações são na dimensão, mas também na forma e no modo como se ligam entre si todos estes vazios de diferentes origens. No entanto, os resultados obtidos por Moropoulou (Moropoulou et al, 2003) sobre argamassas gregas dos períodos Bizantino e pós-Bizantino mostram valores de porosidade típicos para cada tipo de ligante e correlacionáveis com a resistência à tracção: argamassas de cal calcítica com a maior porosidade (da ordem de 40%) e a menor resistência à tracção (da ordem de 0,3 MPa), em seguida as argamassas com cal e pozolanas e cal e pó de tijolo com porosidade da ordem de 35% e resistência à tracção de cerca de 0,6 MPa e por fim as argamassas de cimento Portland com porosidade aproximada de 30% e resistência à tracção de 0,7 MPa.

A Absorção de Água por Capilaridade é um aspecto muito importante do comportamento das argamassas antigas. A sua quantificação baseia-se, em geral, na medição da variação de massa de provetes parcialmente imersos em água, com volume conhecido e área da superfície exposta à água também conhecida. Os ensaios

normalizados (EN 1015-18) recorrem a provetes prismáticos com secção de 40 mm x 40 mm exposta à água. No entanto, as amostras retiradas de obra são, em geral, difíceis de cortar com este formato, por serem muitas vezes de pequenas dimensões, principalmente com espessura reduzida, e demasiado friáveis para suportarem muita manipulação. Os valores importantes para caracterizar este aspecto do comportamento são a absorção total, ou, como é designada com maior propriedade por alguns investigadores, absorção assintótica (Rodrigues, 2004; Rato, 2006), e a taxa de absorção, medida pelo coeficiente de capilaridade obtido a partir de determinados períodos de imersão parcial em água.

A Permeabilidade ao Vapor de Água, habitualmente medida pela variação de massa correspondente ao fluxo de vapor de água que atravessa o provete de argamassa quando se produz uma pressão diferencial entre as duas faces devida a diferentes humidades relativas, exige também provetes com formas e dimensões bem controladas, sendo difícil de conseguir com amostras recolhidas *in situ*.

O mesmo se passa com as características mecânicas, nomeadamente a Resistência à Compressão, a Resistência à Flexão e o Módulo de Elasticidade, que constituem informação relevante para a avaliação da resistência e da deformabilidade das argamassas, mas exigem do mesmo modo provetes com forma e dimensões bem conhecidas.

Assim, a determinação destas características exige o estudo e validação de técnicas adaptadas a amostras de argamassas antigas, extraídas de obra, irregulares e friáveis.

Apesar de alguns estudos importantes realizados nesta área (Katsagaris, 1987; Tasso, et al., 1989) e do trabalho desenvolvido pela Comissão RILEM 167 *Historic Mortars: Characteristics and Tests*, cujos principais resultados foram publicados nos Proceedings PRO12 da Conferência de Paisley, na Escócia, sobre o tema (Bartos et al., editores, 1999), existem ainda muito mais dúvidas do que certezas.

Também nesta área o LNEC tem desenvolvido trabalho de investigação e tem participado em projectos com centros de investigação estrangeiros – como o Institute of Theoretical and Applied Mechanics (ITAM), da República Checa e a Universidade de Ljubljana, da Eslovénia – dispondo já, neste momento, de um conjunto de técnicas de caracterização física e mecânica (Veiga et al, 2004a e 2004b; Veiga, 2005; Valek e



Veiga, 2005; Magalhães e Veiga, 2006b) (Figs. 27 e 28). A participação activa do LNEC na actual Comissão RILEM sobre argamassas históricas – Technical Committee 203 RHM: *Repair Mortars for Historic Masonry* – surge na natural continuação deste trabalho.



Fig. 27 – Ensaio de compressão de amostras de argamassas extraídas em obra



Fig. 28 – Ensaio de capilaridade de amostras de argamassas extraídas em obra

Por outro lado, o comportamento à água e mecânico de argamassas aplicadas – em rebocos ou em juntas – pode ser avaliado através de ensaios *in situ*, que fornecem valores, se não correctos em termos absolutos, pelo menos de grande utilidade em termos comparativos.

No caso do comportamento à água é bastante conhecido o método dos tubos de Karsten, que recorre à aplicação de pequenos tubos de vidro na superfície a ensaiar, que são

preenchidos com água, e à monitorização da redução do nível de água nos tubos ao longo do tempo, correspondente à absorção da superfície (fig. 29). Existem outros métodos mais sofisticados, em que a pressão de água, que nos tubos de Karsten é apenas a pressão da coluna de água aplicada, é reforçada por dispositivos apropriados.

O comportamento mecânico pode ser avaliado através de diversos métodos com resultados mais ou menos correlacionáveis com os dos métodos laboratoriais: Choque de esfera, punçoamento, esclerómetro de pêndulo, *micro-drilling*, medição da velocidade de ondas ultra-sónicas (figs.29 a 32), impacto-eco, etc. (Binda et al., 2000 e 2006, Magalhães et al., 2002, 2003, 2005a, 2005b). Estes métodos não têm leituras directas e a sua utilização implica estudos aprofundados de validação e calibração para os materiais em questão.

Os métodos relacionados com a propagação de ondas, dos quais o mais conhecido e utilizado é o que recorre a ultra-sons, são dos mais interessantes, por serem não-destrutivos e relativamente fáceis de aplicar mesmo em áreas pequenas e de acessibilidade limitada. No entanto, a sua interpretação é difícil e, em materiais muito heterogéneos e de espessura variável como é o caso das argamassas antigas, não está ainda comprovada a correspondência dos valores obtidos com a resistência real do material (Santos et al., 2003).

O projecto Europeu ONSITEFORMASONRY, realizado no âmbito do 5º Programa-quadro com coordenação da investigadora de Milão Luigia Binda e terminado em 2005, abriu caminho para o estudo de métodos não-destrutivos para avaliação *in situ* das características mecânicas de alvenarias históricas, resultando informação sobre a aplicação correcta dos métodos e comparação de resultados que deverá permitir escolher o campo de aplicação e o grau de fiabilidade de cada um (Onsiteformasonry Project group, 2006; Binda et al., 2006; Anzani et al., 2006<sup>a</sup> e 2006b).

Nos estudos de caracterização física de argamassas antigas realizados no LNEC obtiveram-se valores de resistência à compressão predominantemente entre 1 e 5 MPa, e coeficientes de capilaridade entre 0,5 e 2,5 kg/m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup> e estruturas porosimétricas predominantemente bimodais e com poros tipicamente concentrados nas gamas 0,1 a 1 µm e 1 a 10 µm (Magalhães et al., 2006; Adriano et al., 2006; Magalhães et al., 2007; Adriano et al., 2007).



Fig. 29 – Aplicação de tubos de Karsten em revestimento antigo



Fig. 30 – Aplicação de *micro-drilling* em revestimento antigo



Fig. 31 – Realização de ensaio de choque de esfera



Fig. 32 – Realização de ensaio com ultra-sons

### ***2.2.7 – Diagnóstico e caracterização do estado de conservação***

O diagnóstico das anomalias e a caracterização do estado de conservação devem ser objecto de uma aproximação sistemática e coordenada, que implica as seguintes etapas:

- Identificação e sistematização das anomalias;
- Identificação das causas da degradação;
- Identificação dos mecanismos responsáveis pelos fenómenos de alteração e estudo dos seus processos de evolução temporal;
- Avaliação e quantificação do estado de conservação.

A partir destes passos é possível definir, para cada caso, estratégias e metodologias de conservação (intervenções predominantemente preventivas) e, quando tal se justifique, de reparação, através de intervenções correctivas.

A degradação dos revestimentos tem causas exógenas, motivadas por diversos agentes externos, causas endógenas, resultantes dos processos de evolução e envelhecimento dos próprios materiais, e, mais correntemente, causas mistas, originadas pela combinação de acções externas com processos endógenos intrínsecos do material.

As causas exógenas podem ser ambientais, físico-químicas, mecânicas e biológicas, enquanto as endógenas são principalmente de ordem físico-química e mecânica.

Os mecanismos de degradação mais correntes nos revestimentos antigos são causados por: i) água; ii) poluição; iii) sais; iv) reacções expansivas; v) biodeterioração; vi) deformações estruturais (Caneva et al, 1991; Villanueva, 1998; Carrio, J., 2000; Henriques, 2001; Magalhães, 2002; Palomo et al., 2004).

i) A água actua por dissolução e lavagem dos componentes das argamassas. Nas matrizes carbonatadas, o carbonato de cálcio, com um pH típico de 9,93, sofre alguma dissolução quando os seus poros são atravessados pela água, até se atingir um pH de equilíbrio. Quando a água contém  $\text{CO}_2$  dissolvido torna-se ácida e a solubilidade do  $\text{CaCO}_3$  aumenta. Nas argamassas de cimento e cal hidráulica, o hidróxido de cálcio livre é o constituinte mais solúvel.

O transporte da água dá-se através da estrutura porosa, sendo que os grandes poros determinam o volume de água transportado e os pequenos poros são responsáveis pela maior pressão capilar e pela altura de água atingida por capilaridade (Knofel et al., 1987).

A dissolução da matriz provoca directamente um mecanismo de degradação: a erosão da superfície da argamassa (Cailleux et al, 2005). Por outro lado, contribui para o desenvolvimento de outros mecanismos de degradação, ao aumentar a porosidade e a consequente permeabilidade da argamassa e deste modo também a sua vulnerabilidade ao ataque de outros agentes agressivos. Os precipitados de sais de cálcio dão, além disso, origem a eflorescências de  $\text{CaCO}_3$  com efeitos estéticos indesejáveis.

A água pode também ser agente deteriorante através do efeito dos ciclos gelo-degelo. Com efeito, quando a argamassa está próximo da saturação e a temperatura desce rapidamente a valores negativos, a formação de gelo, com aumento de volume, provoca pressão nos poros, podendo originar erosão, fendilhação e rotura. Este mecanismo é tanto mais perigoso quanto mais elevado for o coeficiente de saturação da argamassa e menor a sua resistência à tracção. Naturalmente, as pressões são mais elevadas quando o raio dos poros é reduzido, mas por outro lado, só nos poros de raio relativamente grande a água gela a  $0^\circ$  (a temperatura de congelação é inferior nos poros pequenos, tornando mais raro o fenómeno) (Knofel et al., 1987), além de que os poros grandes estão normalmente associados a maior coeficiente de saturação. Em geral, a profundidade da congelação na argamassa é pequena, originando degradação superficial.

Um outro mecanismo relacionado com a água é a expansão higríca, ou seja o aumento de volume com o aumento do teor de água, seja esta líquida (por absorção) ou sob a forma de vapor (por difusão, nos materiais higroscópicos), principalmente significativa nos materiais com elevada condensação capilar (poros de raio inferior a  $0,1 \mu\text{m}$ ) (Knofel et al., 1987).

Assim, o conhecimento do transporte da água em materiais porosos – molhagem e secagem nas suas diversas fases, através dos fenómenos de absorção, adsorção e difusão (Paiva, 1969; Henriques, 1992; Freitas, 1992; Vilhena, 2002) – é um aspecto central da compreensão de grande parte dos mecanismos de degradação das argamassas.

ii) A poluição atmosférica actua pela interacção das argamassas com os poluentes atmosféricos, de origem urbana ou industrial, nomeadamente o dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), o dióxido de azoto ( $\text{NO}_2$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Estes elementos actuam por via seca, depositando-se nas superfícies, mas principalmente por via húmida, dissolvidos na água da chuva, cujo pH baixa para valores da ordem de 4 a 4,5. Estas águas ácidas, em contacto com as argamassas, formam sais de sulfatos, nitratos e bicarbonatos, muitos dos quais são muito solúveis, dando origem a problemas paralelos aos originados pela dissolução do  $\text{CaCO}_3$  (Cailleux et al, 2005): a sua dissolução pela chuva, associada à abrasão mecânica provocada pelo vento, origina erosão; a sua cristalização nos poros e nas zonas de interface pasta-agregado provoca pressões elevadas que podem induzir fendilhação e rotura da estrutura porosa, através de lascagem ou de pulverização. Dos três tipos de poluentes referidos, o  $\text{SO}_2$  é o mais agressivo, mas quando se encontra em conjunto com o  $\text{NO}_2$  verifica-se uma sinergia que provoca um aumento exponencial da taxa de reacção. Segundo Martinez-Ramirez et al (Martinez-Ramirez et al., 1997), verifica-se uma taxa de reacção crescente com as seguintes condições:  $\text{SO}_2 < (\text{SO}_2 + \text{O}_3) < (\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}) < (\text{SO}_2 + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O})$ .

A interacção do ácido sulfúrico (proveniente da dissolução do  $\text{SO}_2$ ) com o  $\text{CaCO}_3$  das argamassas de cal aérea dá origem à formação de gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ). Os cristais de gesso – que podem acumular-se originando o efeito designado por crosta-negra – criam mecanismos de degradação pela sua fácil dissolução em água, originando erosão, e pela cristalização nos poros, com aumento de volume, provocando fendilhação, escamação e rotura.

Nas argamassas hidráulicas (Sabbioni et al, 2001 e 2002; Van Hees et al., 2003; Lanas et al., 2006) quer se trate de argamassas de cal hidráulica, de cimento, ou pozolânicas, além de gesso pode formar-se singenite ( $\text{K}_2 \text{Ca} (\text{SO}_4)_2$ ) e a reacção secundária do gesso com os compostos hidráulicos pode dar origem à formação de etringite secundária<sup>5</sup> ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) e de taumasite. A etringite e a taumasite surgem com reacções fortemente expansivas, e grande potencial deteriorante, dando origem a fissuração e, no caso da taumasite, a danos severos na matriz de ligante que podem

---

<sup>5</sup> A etringite forma-se sempre, em quantidade limitada, em argamassas de cimento, devido ao gesso adicionado ao cimento, no seu processo de fabrico, como regularizador de presa. No entanto, esta etringite formada durante o tempo de presa, designada por etringite primária, não causa danos, já que nessa fase a estrutura da argamassa é suficientemente plástica para acomodar os cristais expansivos

traduzir-se por pulverização. Também a formação de tenardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), em consequência dos álcalis presentes no cimento, é uma reacção expansiva e facilita a erosão da argamassa. Em todos estes casos há alteração da estrutura porosa da argamassa e, em consequência, das suas absorção de água e resistência mecânica (Lanas et al., 2006).

iii) As rochas alteradas, os tijolos, as argamassas e outros materiais de construção, assim como os aerossóis existentes nos ambientes marítimos, os poluentes atmosféricos e mesmo os produtos do metabolismo de alguns seres vivos, são fontes de iões solúveis ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , entre outros) que são dissolvidos pela água de infiltração e transportados através da estrutura porosa das argamassas. Quando a concentração de uma solução atinge o seu limite de saturação em relação a determinada fase, os sais dissolvidos cristalizam e precipitam. Isto acontece normalmente à medida que se dá a evaporação da água e é ultrapassado o limite de saturação do sal na solução, ou quando a humidade relativa ambiente se reduz até ser inferior à humidade de equilíbrio da solução saturada do sal. Assim, num sistema poroso com sais dissolvidos em circulação, a cristalização está relacionada com a taxa de evaporação e os sais podem ter ciclos de dissolução-cristalização conforme a variação da humidade relativa do ar. A cristalização e a superfície do material onde ela acontece, resultam do equilíbrio dinâmico entre a taxa de evaporação da água e a taxa de acesso do líquido (Knofel et al, 1987).

Durante o processo de cristalização desenvolvem-se pressões no interior dos poros, devido, primeiro ao aumento de volume com a cristalização e depois ao aumento de volume com a hidratação dos sais. Nos cristais muito higroscópicos este fenómeno de aumento de volume com a hidratação é mais acentuado, principalmente se a hidratação for rápida. É este o caso do  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  e do  $\text{MgSO}_4$ , que são, por isso, muito agressivos. A mudança de forma dos cristais com o aumento do seu grau de hidratação, que ocorre nalguns casos – por ex. na passagem da tenardite (sulfato de sódio anidro) a mirabilite (sulfato de sódio com dez moléculas de água) – é um outro mecanismo que origina pressões acrescidas dependentes da humidade relativa do meio (Knofel et al, 1987).

O cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ), muito presente em ambientes marítimos, desenvolve, segundo alguns autores (Lubelli et al, 2006), para além do aumento de volume

---

formados. Pelo contrário, a reacção após a presa com formação da chamada ertringite secundária provoca tensões elevadas, responsáveis por severos danos no material.

associado à cristalização, um outro mecanismo de degradação baseado na interação mecânica entre o sal, que cristaliza em camada, e as paredes dos poros, às quais adere. Esta interação resulta em dilatações irreversíveis em cada ciclo de cristalização que se somam ao longo de vários ciclos, com um efeito destrutivo muito forte, chegando a pulverizar a argamassa (figs. 33 e 34). Segundo os mesmos autores, este efeito observa-se também noutros sais higroscópicos, como o  $\text{NaNO}_3$  e o  $\text{KCl}$ .



Fig. 33 – Degradação do reboco, com pulverização, por efeito do ataque salino da água do mar



Fig. 34 – Ensaio de comportamento aos sais

Naturalmente, estas pressões são tanto mais elevadas quanto menor for o raio dos poros. Além disso, como os sais se formam primeiro nos grandes poros e vão crescendo alimentados pela solução existente nos pequenos poros, o potencial de degradação é maior quando há diferenças acentuadas de dimensões de poros, nomeadamente quando existe uma gama de grandes poros e outra de pequenos poros cuja solução alimenta os sais dos grandes poros. Este mecanismo é mais perigoso quando a velocidade de secagem é moderada, por haver tempo para se dar esta passagem da solução dos pequenos poros para os grandes sem que haja precipitação nos pequenos poros (Fitzner and Snethlage, 1982; Snethlage, 1984; Knofel et al., 1987; Magalhães et al., 2007).

Em geral existem vários tipos de sais nas alvenarias e os processos de cristalização e interação com a estrutura porosa não são independentes uns dos outros. Segundo alguns autores (Gonçalves, 2007, citando Charola) a presença em simultâneo de sulfatos e de cloretos aumenta o potencial destrutivo em relação a cada um dos sais em separado.



Os mecanismos de degradação das argamassas com a cristalização de sais solúveis dependem, portanto, do modo de cristalização dos sais presentes e da humidade ambiente – mais ou menos próximas da humidade de equilíbrio – mas também, e mais uma vez, das condições de transporte da água no interior da estrutura porosa. Como a cristalização se dá, em geral, na superfície de evaporação, a degradação aumenta quando essa superfície se encontra no interior do revestimento (criptoflorescências) em relação às situações em que essa frente coincide com o paramento exterior (eflorescências). O recuo da frente de evaporação pode acontecer devido ao aumento da taxa de evaporação em relação ao fluxo de fornecimento de água ou devido à presença de hidrófugos na argamassa, que atrasam o transporte da água líquida (Gonçalves, 2007).

O comportamento das argamassas aos sais é particularmente complexo por depender dos vários factores referidos e ainda devido ao funcionamento das várias camadas em contacto: suporte, várias camadas de argamassa, várias camadas de pintura. Com efeito, o transporte da água e das soluções salinas através destas camadas com diferentes estruturas porosas é muito difícil de prever, como confirmam os estudos recentes de Petkovic (Petkovic, 2005) e Gonçalves (Gonçalves, 2007). Recorde-se ainda que, sendo o fim último da argamassa, em geral, a protecção do suporte, a sua durabilidade pode não ser o aspecto mais importante deste comportamento.

iv) O deficiente apagamento da cal cálcica ou dolomítica deixa cristais de CaO e de MgO que, hidratados mais tarde, após o endurecimento, originam expansões com formação de portlandite e de brucite. Estes óxidos podem também estar presentes no cimento e na cal hidráulica. As reacções expansivas resultantes destas hidratações podem originar fendilhação e rotura.

Nas argamassas de cimento, a formação de etringite é uma consequência da reacção entre os sulfatos e os aluminatos presentes nos produtos de hidratação do cimento portland. Quando esta reacção, altamente expansiva, se dá após o endurecimento da argamassa, desenvolvem-se tensões elevadas na estrutura porosa que podem levar à fendilhação e até à pulverização. Este efeito destrutivo depende da composição do cimento usado e em particular do seu teor de  $C_3A$ , assim como da qualidade da argamassa e da sua porosidade.

A formação de taumasite, que pode ocorrer nas argamassas de cimento portland, é também uma reacção expansiva com grande potencial deteriorante. Resulta da alteração da etringite por reacção com outros constituintes ou da interacção de sulfatos e carbonatos com o CSH do cimento. O efeito destrutivo da taumasite deve-se a um mecanismo de expansão semelhante ao da etringite, mas, segundo alguns autores, também à destruição do gel de CSH pela reacção (Palomo et al, 2004), originando a perda de coesão da argamassa.

A cinética dos vários mecanismos relacionados com a água descritos em i a iv) é fortemente dependente das variações de temperatura e humidade, ocorrendo numa escala de tempo semelhante.

v) A biodeterioração é o processo de destruição de um material por organismos vivos ou por produtos do seu metabolismo. Algas, líquenes, bactérias, plantas, fungos, insectos, podem ser responsáveis por processos de degradação de vários materiais. No caso das argamassas, determinadas características, como a porosidade e a rugosidade, favorecem a retenção de água e o conseqüente desenvolvimento de micro-organismos, como algas e ciano-bactérias. Estas últimas, por sua vez, formam uma camada superficial onde a fixação de poeiras e de água gera condições para o desenvolvimento de outros organismos vivos. A composição das argamassas e dos revestimentos em geral, por exemplo devido à incorporação de determinados constituintes orgânicos, pode também facilitar o desenvolvimento de organismos vivos com capacidade de deterioração.

Estes seres vivos actuam sobre a argamassa quer mecanicamente, quer através da concentração da humidade, quer ainda pelos produtos ácidos resultantes do seu metabolismo. Contudo, o potencial deteriorante das várias espécies é muito diversificado. É necessário conhecer a composição da colónia biológica existente em cada caso para desenvolver estratégias para o seu controlo e para a erradicação das espécies que podem degradar as superfícies históricas. Camadas biogénicas estão por vezes no interior do material e portanto podem não ser visíveis de imediato. É importante ter em conta que certos produtos de tratamento podem favorecer o desenvolvimento de colonização biológica. Isto acontece com ligantes orgânicos e consolidantes como a caseína, a metilcelulose, o óleo de linhaça, etc. e também com substâncias sintéticas contendo fontes de azoto, que funcionam como fertilizantes para os organismos vivos. Muitas vezes no uso de polímeros, o factor decisivo para

promover o desenvolvimento biológico é a alteração das propriedades físicas e o resultante microclima criado, nomeadamente a concentração de humidade no interior do material (Sterflinger e Sert, 2006).

vi) Os danos estruturais e, em particular, as deformações da estrutura, podem ser motivados pela instabilidade dos terrenos e pelos assentamentos de fundações (com destaque para o problema dos assentamentos diferenciais, com consequências particularmente gravosas), por efeitos sísmicos, por acções dinâmicas, como as vibrações produzidas pelo tráfego, ou ainda por alterações provocadas pela modificação dos usos ou pelo envelhecimento dos materiais. Com efeito, as alterações de uso dos edifícios antigos e a sua ocupação por vezes excessiva dão frequentemente origem a aumento das cargas actuantes nas paredes e tectos, que tendem assim a sofrer deformações. Por outro lado, as estruturas de suporte dos tectos e telhados antigos são muitas vezes de madeira e, quando a falta de manutenção permite situações de infiltração de água, estas estruturas tendem a apodrecer e deformar. Finalmente, novas vibrações provenientes, por exemplo, do tráfego, da passagem de novos meios de transporte como o metro ou o comboio, produzem também deformações nas paredes.

Todas estas deformações são transmitidas às argamassas que podem sofrer fendilhação e rotura.

Frequentemente várias causas conjugam-se para provocar a degradação: por exemplo a água dissolve os sais provenientes da poluição ou de outras fontes e favorece o seu transporte, contaminando toda a espessura do revestimento ou o próprio tosco da parede; ao evaporar, provoca a cristalização dos sais à superfície, ou no interior do revestimento ou da parede, sendo essa a fase mais destrutiva, quer devido ao aumento de volume e consequente destruição da estrutura porosa quer ao potencial de reacção com os constituintes da argamassa, gerando outros compostos, solúveis ou expansivos; a presença prolongada de água favorece o desenvolvimento de microorganismos, como fungos, algas e líquenes, que originam manchas inestéticas nas fachadas e podem ainda, em determinados casos, causar perda de coesão e desgaste; por outro lado, a deformação das paredes ou dos tectos, devido a aumento de carga, a degradação de elementos estruturais de madeira ou a problemas nas fundações, tende a transmitir tensões aos revestimentos e às argamassas em geral, originando fendilhação e empolamento.

Alguns dos mecanismos descritos encontram-se em grande mutação, pelo que nem sempre a experiência existente permite lidar com a situação dos edifícios históricos de cada região.

Os mecanismos dependentes de acções climáticas estão sujeitos, além das variações sazonais e aleatórias próprias destas solicitações, às alterações climáticas que têm vindo a acontecer recentemente em todo o Planeta. Na verdade, os meteorologistas prevêem que a Europa terá num futuro próximo temperaturas mais elevadas e portanto menor grau de degradação devido ao gelo mas maior nível de colonização biológica. A alteração dos ciclos de humedecimento-secagem, nomeadamente com Verões mais secos e quentes, deverá aumentar os danos com a cristalização de sais porque as variações diárias cruzarão com maior frequência os valores críticos; por ex. o valor de 75,5% abaixo do qual se dá a cristalização do cloreto de sódio (Gonçalves, 2007) será ultrapassado mais vezes na República Checa e na Inglaterra, originando maior taxa de degradação com este sal. A redução da humidade pode também potenciar problemas estruturais originados pela dessecação e retracção dos solos. Por outro lado, o clima mais seco resultará numa redução do tempo de humedecimento das superfícies, pelo que contribuirá certamente para a redução da deterioração devida à poluição e pela alteração do tipo de colonização biológica (Brimblecombe et al., 2006).

O Projecto Europeu NOAHs ARK (Brimblecombe et al., 2006; Sabbioni et al, 2006) tem coligido dados sobre as alterações climáticas com previsível impacto no Património Cultural e vem modelando essas variações através da construção de um Atlas, propondo-se em seguida traduzi-las em taxas de risco de degradação material. O projecto considera as alterações dos níveis de água no solo, o aumento das tempestades e do vento, o incremento das tensões térmicas e os danos estruturais e biológicos resultantes das variações dos teores de humidade nos materiais.

O tipo de poluição encontra-se também em mutação constante, prevendo-se um declínio das concentrações de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> e HNO<sub>3</sub> durante o próximo século, com a substituição progressiva do carvão pelo gaz e electricidade e com o aumento da eficiência da regulamentação ambiental nas cidades, apesar do constante aumento da circulação de transportes (Brimblecombe et al., 2006).

É importante identificar, sempre que possível, a(s) causa(s) primária(s) e a combinação de causas secundárias que potenciam os mecanismos de degradação, de modo a poder actuar no sentido de interromper o processo e, se possível, reverter o seu desenvolvimento.

O planeamento da intervenção de reparação dos revestimentos<sup>6</sup> deve ser feito após um diagnóstico correcto das causas das anomalias e uma avaliação do estado de conservação da argamassa.

A identificação das causas das anomalias é essencial ao conhecimento dos mecanismos de degradação e é imprescindível ao planeamento da reparação. Sempre que possível, devem eliminar-se as causas ou controlar os seus efeitos antes de proceder à reparação.

A quantificação dos parâmetros que descrevem o estado de conservação dos revestimentos é um passo relevante na definição da estabilidade dos elementos de construção, no sentido não só mecânico mas também físico-químico, e na definição das estratégias de conservação a prosseguir.

Este estado de conservação pode ser caracterizado pelos tipos de anomalias que revelam (Magalhães, 2002) e pelo grau em que se manifestam. Com efeito, enquanto um revestimento fendilhado, mesmo que em grau elevado, pode ser reparado com alguma facilidade, recorrendo a técnicas conhecidas e acessíveis à mão-de-obra corrente, o mesmo não se passa quando há deficiências de aderência ao suporte ou de coesão entre as partículas, cuja reparação exige o emprego de técnicas mais dispendiosas e complexas.

Assim, elaborou-se o conceito de severidade da anomalia (Veiga e Aguiar, 2003), que está relacionado, não só com o grau, mais ou menos elevado, da degradação provocada, mas também com a sua reparabilidade. Deste modo, a severidade da anomalia e, em consequência, o nível de degradação, não está apenas relacionada com o modo como a anomalia é percebida e com os efeitos funcionais dessa anomalia, mas também com a viabilidade da sua reparação.

---

<sup>6</sup> Naturalmente, só faz sentido pensar a intervenção nos revestimentos depois de analisar o estado da parede, nomeadamente em termos de estabilidade, fase essa que não é objecto deste trabalho, mas que pode condicionar a intervenção nos revestimentos.

O cruzamento sistematizado destes aspectos permite o estabelecimento de uma classificação do estado de conservação do revestimento, relacionada com o tipo de intervenção mínima (isto é, o que se situa do lado da máxima preservação) de que se apresenta uma primeira aproximação no quadro 1.

**Quadro 1 – Classificação do estado de conservação do revestimento  
(extraído de Veiga e Aguiar, 2003)**

| <b>Tipo de anomalia</b>              | <b>Grau</b> | <b>Intervenção mínima*</b>                           | <b>Classificação</b> |
|--------------------------------------|-------------|--|----------------------|
| Fendilhação                          | Elevado     | Reparação localizada                                 | Severidade 3         |
|                                      | Médio       | Reparação localizada superficial                     | Severidade 2         |
|                                      | Reduzido    | Manutenção   | Severidade 1         |
| Eflorescências e Criptoflorescências | Elevado     | Substituição parcial                                 | Severidade 4         |
|                                      | Médio       | Reparação localizada                                 | Severidade 3         |
|                                      | Reduzido    | Reparação localizada superficial                     | Severidade 2         |
| Biodeterioração                      | Elevado     | Reparação localizada                                 | Severidade 3         |
|                                      | Médio       | Reparação localizada superficial                     | Severidade 2         |
|                                      | Reduzido    | Manutenção (com tratamento biocida)                  | Severidade 1         |
| Perda de aderência                   | Elevado     | Substituição parcial                                 | Severidade 5         |
|                                      | Médio       | Preenchimento de lacunas                             | Severidade 4         |
|                                      | Reduzido    | Consolidação (recolagem ao suporte ou entre camadas) | Severidade 3         |
| Perda de Coesão ou Desagregação      | Elevado     | Substituição parcial                                 | Severidade 5         |
|                                      | Médio       | Substituição parcial                                 | Severidade 4         |
|                                      | Reduzido    | Consolidação   | Severidade 3         |
| Erosão                               | Elevado     | Reparação localizada                                 | Severidade 2         |
|                                      | Médio       | Manutenção   | Severidade 1         |
|                                      | Reduzido    | Manutenção   | Severidade 1         |

\* Após tratamento das causas.

Sistemas de caracterização baseados em concepções semelhantes mas adaptados a cada caso concreto têm sido desenvolvidos a nível internacional. Fitzner (Fitzner et al., 2003) desenvolveu um sistema, que aplicou aos monumentos Faraónicos de pedra arenítica de Luxor (Egipto) baseado na classificação e registo de formas de envelhecimento por acção climática e na sua intensidade. Estabeleceu, para cada tipo de degradação, seis categorias, variando de 0 – sem degradação visível – até 5 – degradação muito severa;

definiu dois tipos de índices de degradação, o índice linear de degradação baseado na categoria média de degradação, e o índice progressivo de degradação caracterizando a proporção de categorias de mais alta degradação (4 e 5).

Um índice de susceptibilidade ao envelhecimento climático – WSI (Weathering Susceptibility Index) – foi definido no Japão por Matsukura e Matsuoka, citados por Oguchi (Oguchi et al, 2006), para apoiar a previsão do risco de danos devido aos sais em edifícios históricos.

O mapeamento das anomalias dos monumentos com o registo destes tipos, categorias e índices permite estabelecer correlações com os factores de degradação principais – idade, carga suportada, etc. – e definir e escalonar tratamentos.

### ***2.2.8 – Avaliação do estado de conservação***

Uma primeira avaliação do estado de conservação pode ser feita por observação visual, tendo como base um olhar treinado e um conhecimento de base sobre os vários mecanismos de degradação e os respectivos sintomas. Um mapeamento dos tipos de anomalias existentes nas fachadas, juntamente com uma classificação das anomalias do tipo da referida no Quadro 1, podem assim ser estabelecidas.

Sempre que possível, a observação e o mapeamento devem ser precedidos de uma investigação histórica sobre a fase de construção e os acontecimentos durante a vida do edifício que podem ter afectado a sua “saúde” construtiva, no que se refere a exposição a agentes deteriorantes, a períodos de falta de manutenção, a alterações de uso e a intervenções.

Em seguida, deve ser feito um diagnóstico dessas anomalias, numa primeira fase com base nos sintomas observados; num segundo momento, quando as causas não são imediatamente evidentes, ou quando o grau de degradação não é passível de ser estabelecido por simples observação, o diagnóstico deve ser fundamentado num estudo mais aprofundado e quantificado, que viabilize uma estratégia de reparação, recorrendo a técnicas de caracterização experimentais.

As técnicas de aplicação *in situ* não-destrutivas, de largo espectro, devem ser usadas em primeiro lugar com o objectivo de localizar os problemas, seguindo-se as técnicas *in situ* pouco-destrutivas e, se necessário, destrutivas, em pontos localizados, definidos a partir dos primeiros resultados. Finalmente, para esclarecer alguns aspectos, pode ser necessária a recolha de amostras para ensaios de laboratório.

No que diz respeito a técnicas não-destrutivas de largo espectro vocacionadas para a detecção de anomalias e para o estudo de mecanismos de degradação, são de referir os métodos que recorrem à imagem, como a termografia (Santos et al., 2003), a tomografia geoelectrica e o geo-radar (Onsiteformasonry Project Group, 2006), que permitem detectar diferentes camadas, zonas com perda de aderência ou com perda de coesão ou ainda com teores de água mais elevados, vazios, inclusões de outros materiais e por vezes também fendas, desde que atinjam dimensões suficientes para provocarem heterogeneidades significativas nas propriedades do material. Os mesmos métodos usados na caracterização, de aplicação mais localizada, têm também um papel a seguir: ultra-sons, impacto-eco, esclerómetro de pêndulo – para uma avaliação das características mecânicas – tubos de Karsten e fitas colorimétricas para detecção de sais (Borrelli, 1999) – para uma avaliação do comportamento à água e presença de sais – e ainda as metodologias baseadas em medições de teores de humidade em vários pontos da parede e no estabelecimento de perfis de humidade (Henriques, 2001; Gonçalves, 2007) – que possibilitam a percepção do processo de infiltração de água na parede e fornecem informação sobre a existência e teores aproximados de sais higroscópicos.

Ensaio de choque, de punçoamento e de *micro-drilling* agrupam-se no conjunto das técnicas pouco destrutivas que podem ser necessárias quando (ou enquanto) as técnicas não-destrutivas para avaliação mecânica não dão resultados suficientemente fiáveis.

As mesmas técnicas de caracterização química, mineralógica, física e mecânica usadas para a identificação dos constituintes e caracterização das argamassas podem ser usadas sobre amostras extraídas das zonas afectadas previamente localizadas com o auxílio dos métodos aplicados *in situ*, para fornecer indicações sobre eventuais produtos de degradação e sobre a coesão, aderência, resistência mecânica e porosidade das argamassas, que, no seu conjunto, possibilitam uma avaliação do estado de conservação. Com efeito, a existência nas argamassas de determinados produtos – brucite, etringite, gesso, halite (NaCl), cloroaluminatos de cálcio hidratados, monossulfoaluminatos de



cálcio hidratado (Magalhães e Veiga, 2006a) – indicia o desenvolvimento de certos mecanismos de degradação. Por outro lado, valores demasiado elevados de porosidade e de permeabilidade à água e muito reduzidos das características mecânicas, são sinais de um processo de degradação em curso.

As condições de aplicação de todos estes métodos e a interpretação dos resultados são complexos, quer pela sua natureza indirecta quer pelo carácter heterogéneo das argamassas antigas, e da sua ligação à alvenaria. Assim, é sempre necessária uma calibração prévia de cada método para cada tipo de argamassa e de alvenaria, a realização de grande número de medições e a avaliação cuidada de possíveis fontes de erros.

Na verdade, a interpretação dos resultados destas panóplias de ensaios exige uma equipa de peritos, especializados nas várias técnicas; caso esta equipa não exista ou não tenha experiência suficiente, corre-se o risco de um uso inadequado ou mesmo do total não uso de valores cuja obtenção tem geralmente custos elevados (Binda et al., 2000 e 2006; Anzani et al, 2006a).

O cruzamento destes resultados deve conduzir à definição de uma metodologia geral de diagnóstico que permitirá concluir sobre os mecanismos de degradação em curso, o grau de degradação atingido, a previsão da evolução da situação, nomeadamente do prosseguimento dos mecanismos de degradação. Em seguida podem ser analisadas as possibilidades de conservação, por interrupção dos mecanismos de degradação, por estabelecimento de protecções – de tipo activo ou passivo – contra as acções deteriorantes e, se necessário, de acções de reparação do revestimento.

Naturalmente, o conjunto de ensaios a escolher, o seu faseamento e os pontos onde devem ser aplicados não podem ser alvo de uma “receita” geral, mas devem ser delineados, caso a caso, pela equipa projectista, conforme os problemas existentes e os objectivos que persegue (Binda et al., 2000).

No que se refere ao diagnóstico global de anomalias pode citar-se de novo o Projecto ONSITEFORMASONRY, coordenado por Luigia Binda, relativo às paredes antigas de alvenaria, para além de diversos estudos parciais. As técnicas preconizadas neste projecto agrupam-se numa metodologia global recomendada que se esquematiza na figura 35 (adaptado de Onsiteformasonry Project Group, 2006), mas o grupo considera

que este trabalho é apenas um embrião do que há a fazer para que as técnicas sejam efectivamente aplicáveis fora do âmbito da investigação. Foi criada em 2006 uma Comissão Técnica da RILEM, a TC SAHM: *Strategies for the Assessment of Historic Masonry* para continuar o trabalho realizado e torná-lo utilizável pelo meio técnico.

No entanto, convém ter em conta que estes métodos são para alvenarias e não especificamente para argamassas (juntas ou rebocos), portanto os resultados obtidos não são directamente aplicáveis, quer pela diferença de materiais, quer, principalmente, pela diferença de escala.

A nível internacional muitos estudos têm surgido nesta área, relacionados com os vários mecanismos de degradação, com destaque para a humidade, sais e poluição (Tinzi, 1994; Petkovic, 2005).

No LNEC esta temática tem sido objecto de investigação, quer no que diz respeito ao estudo das anomalias e das suas causas (Henriques, 2001; Santos et al, 2003; Magalhães et al., 2005a; Gonçalves, 2007) quer das metodologias de avaliação e classificação do grau de degradação (Tavares et al., 2004; Tavares et al., 2005a; Magalhães e Veiga, 2006<sup>a</sup> e 2006b).

Como síntese dos estudos realizados e considerando também os trabalhos de investigação do projecto *Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas* (ver 3), pode-se considerar a metodologia geral representada pelo fluxograma da fig. 36, baseada nas técnicas já relativamente bem estudadas pelo grupo de investigadores que têm desenvolvido trabalho na área dos revestimentos de edifícios antigos.

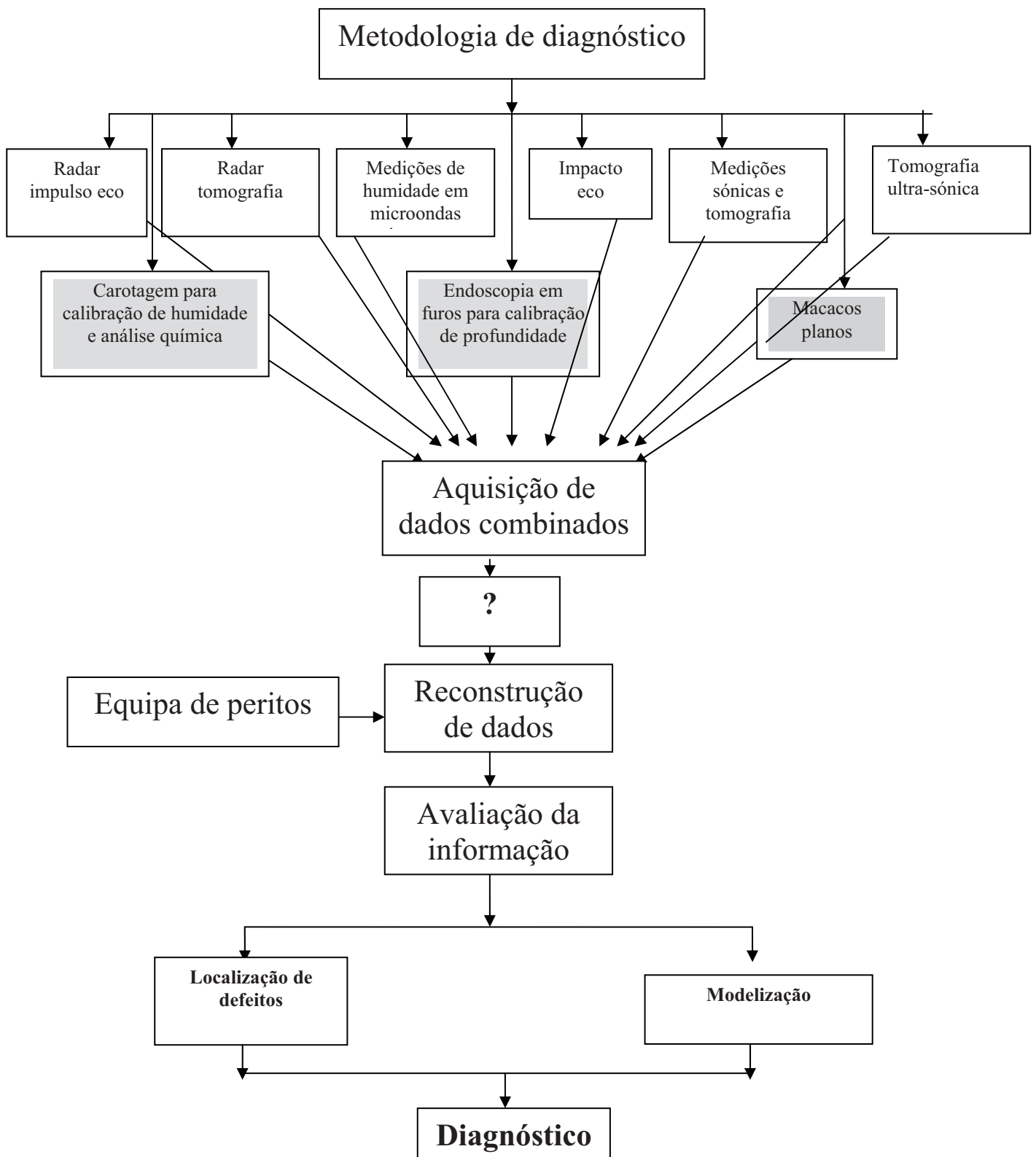


Fig. 35 – Esquema da metodologia de diagnóstico preconizada pelo Projecto ONSITEFORMASONRY

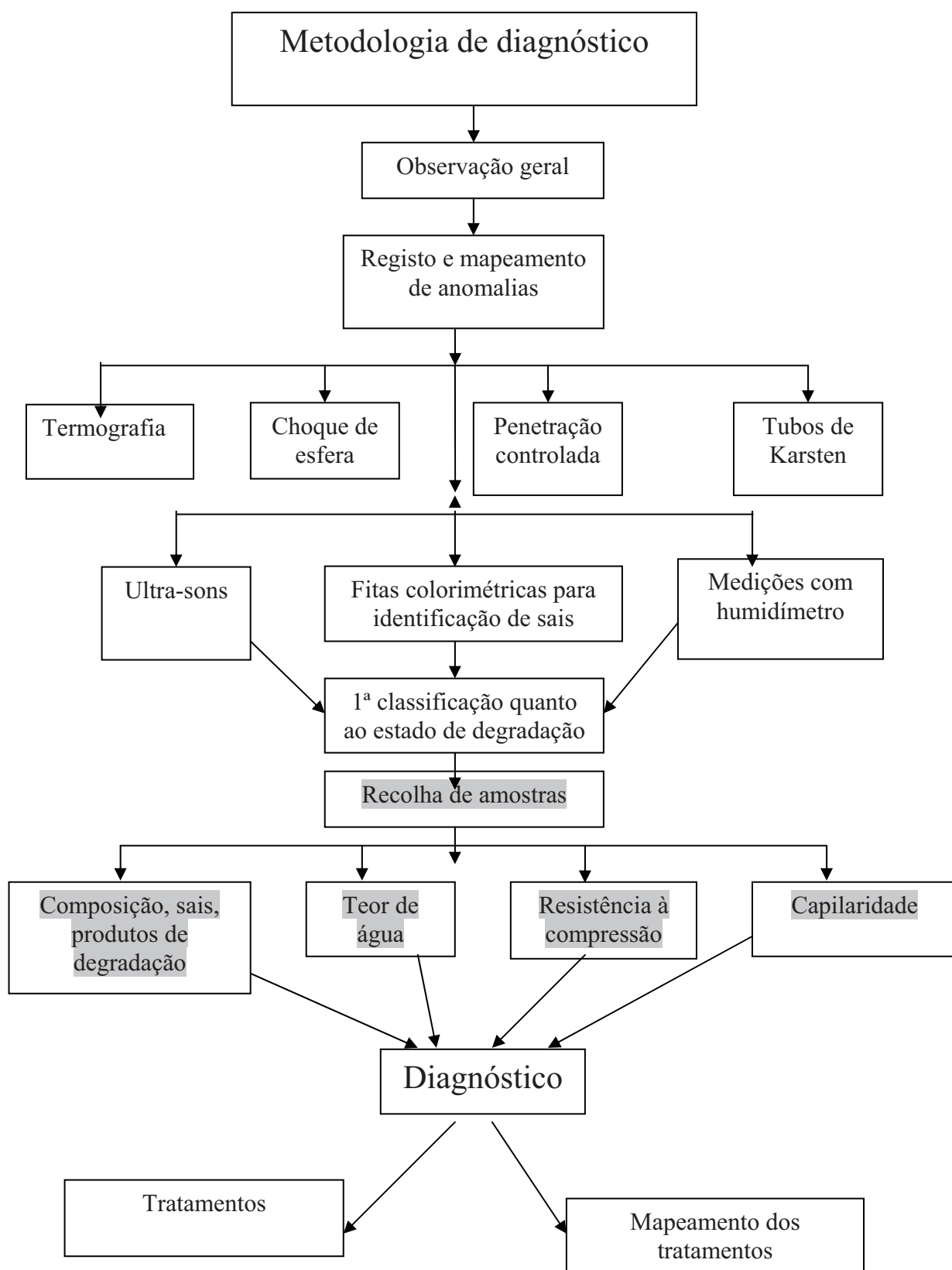


Fig. 36 – Esquema de uma metodologia de diagnóstico geral para revestimentos antigos

## **2.3 - Estratégias de intervenção**

### ***2.3.1 – Opções possíveis***

A ética da conservação (Venice Charter, 1964; Henriques e Jorge, 1996) requer que se considere sempre em primeiro lugar a conservação dos revestimentos existentes, recorrendo a estratégias preventivas, através de planos de manutenção e, quando necessário, a reparações pontuais e a técnicas de consolidação. Importa dizer que, em muitos casos, além de ser a opção mais correcta, esta é também a mais favorável dos pontos de vista da durabilidade, da funcionalidade e até da economia.

Por vezes esta opção não se justifica devido ao reduzido “valor” do edifício ou do revestimento, ou é inviável técnica ou economicamente, devido, por exemplo, ao estado de degradação dos revestimentos ou dos próprios suportes, ou ao custo das técnicas a utilizar. Nesses casos, é necessário recorrer a substituições parciais ou totais dos revestimentos.

Assim, podem-se sistematizar os seguintes tipos de estratégias de intervenção: i) Manutenção ii) Reparções localizadas iii) Consolidação iv) Substituição parcial ou total (Veiga e Aguiar, 2003).

### ***2.3.2 – Manutenção***

Para prolongar a vida útil dos revestimentos é importante programar operações de manutenção periódicas, nomeadamente através de acções de limpeza (fig. 37) e de tratamento (por exemplo tratamento contra a colonização biológica através do uso de biocidas), da correcção de situações relacionadas com a envolvente ou com a rede de drenagem de água exterior que possam dar origem a infiltrações de água, que são causa de muitas outras anomalias e da reparação atempada das camadas de acabamento (barramentos e pinturas) que têm uma acção muito importante na protecção das

camadas subjacentes. A colmatação de fendas superficiais pode também enquadrar-se no conjunto de operações de manutenção a considerar.

### ***2.3.3 – Reparções localizadas***

Quando a severidade das anomalias o justifica devem fazer-se reparações localizadas nas zonas mais afectadas, por exemplo através da eliminação de sais, do tratamento de fendas ou do preenchimento de lacunas, com utilização de materiais semelhantes aos pré-existentes (fig. 38).



Fig. 37 – Limpeza com jacto de água com baixa pressão



Fig. 38 – Colmatação de lacuna com material semelhante

### ***2.3.4 – Consolidação***

Quando as anomalias existentes consistem em perda de aderência ou em perda de coesão, as soluções de maior preservação implicam o uso de consolidantes, sob a forma de caldas injectáveis (*grouts*) que promovam a recolagem entre camadas ou entre estas e

o suporte, ou de adesivos, inorgânicos ou mesmo orgânicos, para restituição da ligação entre as partículas do material (Ferragini et al., 1984; Delgado Rodrigues e Pinto, 2000; Aguiar et al, 2001; Marques e Delgado Rodrigues, 2003; Hansen et al, 2003; Tavares et al, 2005b; Tavares e Veiga, 2006b; Tavares, 2006; Zajadacz e Simon, 2006). Este tipo de técnicas, que reunimos sob a designação geral de “consolidação”, não tem sido aplicado em Portugal no domínio dos rebocos, com excepção de algumas experiências recentes, ainda semi-empíricas (Henriques, 2002; Veiga et al, 2006 e 2007d) (figs. 39 e 40).

A consolidação é há muito empregue em outros elementos da construção antiga, como as pinturas murais e a pedra (Mora et al., 1977; Delgado Rodrigues, 2000; Giorgi et al., 2000; Hansen et al, 2003), no entanto há muito a fazer para adaptar essa técnica aos rebocos e torná-la viável técnica e economicamente, devido às grandes superfícies envolvidas e à heterogeneidade e friabilidade do material.

A avaliação da eficácia dos tratamentos de consolidação começou a ser objecto de alguns estudos, nomeadamente no que diz respeito à consolidação da pedra (Tiano et al, 2000), mas encontra-se ainda numa fase muito preliminar. Também a definição de requisitos para os materiais a usar e para o desempenho do revestimento consolidado começa agora apenas a ter a atenção de alguns investigadores (Zajadacz e Simon, 2006; Tavares e Veiga, 2006b e 2007)

Naturalmente, apenas se justifica recorrer à consolidação de rebocos quando o edifício ou o revestimento é de valor elevado, quer por razões históricas ou artísticas, quer devido à raridade da técnica ou do material.



Fig. 39 – Palácio da Vila, em Sintra, após restauro do revestimento de fachada, com consolidação (década de 1990).



Fig. 40 – LNEC, Edifício Arantes e Oliveira, após restauro do revestimento de fachada, com consolidação (2006).

### ***2.3.5 – Substituição parcial e substituição total***

Quando as anomalias existentes são de severidade elevada, principalmente se os outros factores também forem contrários – valor reduzido do edifício e disponibilidade de meios insuficiente – pode ser necessário substituir parte do reboco ou a sua totalidade. Por vezes, basta substituir a última camada, mais fendilhada ou contaminada por micro-organismos, ou uma determinada zona do reboco, por exemplo afectada de forma prolongada por uma infiltração de água. Outras vezes, perante uma desagregação ou um descolamentos generalizados, por exemplo, impõe-se a substituição total (figs. 41 e 42).



Fig. 41 – Revestimento com perda de coesão generalizada



Fig. 42 – Revestimento com perda de aderência generalizada

Nestes casos, é essencial que os materiais de substituição sejam adequados, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação (Veiga et al., 2001 e 2004b).

A decisão quanto ao tipo de estratégia a adoptar é, naturalmente, da maior importância, condicionando toda a intervenção e a situação final do edifício. Conviria, assim, dispor de critérios bem definidos para decidir quando se justifica fazer opções mais onerosas e complexas, que devem basear-se, fundamentalmente, nos seguintes factores:

- a) Valor do edifício em geral e do revestimento em particular
- b) Estado de conservação do revestimento
- c) Disponibilidade de meios, em termos de tecnologia, mão-de-obra, tempo e verbas



Propõe-se um ponto de partida possível para esta definição de estratégia, que se sintetiza no Quadro 2 (Veiga e Aguiar, 2003).

**Quadro2 – Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção**

| <b>Estado de conservação</b> | <b>Valor do edifício</b> | <b>Opção de intervenção</b>                      | <b>Seleção dos materiais</b> | <b>Seleção das técnicas</b>               | <b>Outras exigências</b>           |
|------------------------------|--------------------------|--|------------------------------|---|------------------------------------|
| Severidade 1                 | Elevado                  | Conservação e manutenção                         | Compatíveis e idênticos      | Tradicionais e/ou especializadas          | Reversibilidade; Aspecto idêntico  |
|                              | Reduzido                 | Conservação e manutenção                         | Compatíveis                  | Regras da boa arte                        | Reparabilidade; Aspecto compatível |
| Severidade 2                 | Elevado                  | Consolidação e/ou Reparação localizada           | Compatíveis e idênticos      | Tradicionais e/ou especializadas          | Reversibilidade; Aspecto idêntico  |
|                              | Reduzido                 | Reparação localizada e/ou substituição parcial   | Compatíveis                  | Regras da boa arte                        | Reparabilidade; Aspecto compatível |
| Severidade 3                 | Elevado                  | Consolidação e/ou Reparação localizada           | Compatíveis e idênticos      | Tradicionais e/ou especializadas          | Reversibilidade; Aspecto idêntico  |
|                              | Reduzido                 | Substituição parcial                             | Compatíveis                  | Regras da boa arte                        | Reparabilidade; Aspecto compatível |
| Severidade 4                 | Elevado                  | Preenchimento de lacunas ou substituição parcial | Compatíveis e idênticos      | Técnicas tradicionais e/ou especializadas | Reversibilidade; Aspecto idêntico  |
|                              | Reduzido                 | Substituição parcial ou integral                 | Compatíveis                  | Regras da boa arte                        | Reparabilidade; Aspecto compatível |
| Severidade 5                 | Elevado                  | Substituição parcial                             | Compatíveis e idênticos      | Técnicas tradicionais e/ou especializadas | Reversibilidade; Aspecto idêntico  |
|                              | Reduzido                 | Substituição integral                            | Compatíveis                  | Regras da boa arte                        | Reparabilidade; Aspecto compatível |

## **2.4 - Soluções de reparação**

### ***2.4.1 – Tipos de soluções***

No que se refere às técnicas a usar em cada caso, podem separar-se os seguintes tipos: i) técnicas de limpeza e de reparação pontual (BSI, 2000a; Zerbinatti, 2005; Scarzella et al, 2005); ii) materiais e técnicas de consolidação (Ferragini et al., 1984; Delgado Rodrigues e Pinto, 2000; Aguiar et al, 2001; Marques e Delgado Rodrigues, 2003; Hansen et al, 2003; Tavares e Veiga, 2006b; Zajadacz e Simon, 2006); iii) materiais e técnicas de substituição (Baronio et al., 1996b e 1996c; Moropoulou e Bakolas, 1998; Moropoulou et al., 1998; Callebaut et al., 2000; Veiga, 2003; Lanas e Alvarez, 2003; Rodrigues, 2004; Henriques, 2005; Papayianni, 2005; Magalhães e Veiga, 2005).

Os aspectos relacionados com i e ii encontram-se em parte no domínio do restauro e têm vindo a ser estudadas, em geral pontualmente, sob pressão da necessidade prática da sua utilização.

A Norma inglesa BS 8221 tem indicações gerais sobre estes tratamentos (BSI, 2000a e b), embora se dirijam mais à pedra e à superfície de tijolo à vista do que às superfícies rebocadas.

As técnicas mais referidas e aplicadas nos casos conhecidos, descrevem-se nos itens seguintes.

### ***2.4.2 – Técnicas usadas na manutenção e na reparação pontual***

A limpeza, que se entende como a remoção total ou parcial de depósitos superficiais orgânicos ou minerais (pó, gordura, restos de tinta, colonização biológica, sujidade em geral, etc.) e de formações superficiais resultantes de reacções químicas de depósitos com a base (eflorescências salinas, gesso, ferro, carbono, etc.), pode ser realizada por:

#### *a) Limpeza a seco*

Estes métodos são apropriados quando a água pode danificar a superfície ou dar origem a infiltrações danosas para o interior.

Escovagem manual a seco – devem usar-se escovas macias adequadas à resistência da superfície a limpar; este método é pouco viável para grandes superfícies.

Jacto de ar sob pressão – este método pode ser suficiente para remover pó ou depósitos pouco aderentes à superfície.

Micro-jactos de abrasivo fino – podem ser usados abrasivos muito diversos, devendo escolher-se um com dureza inferior à superfície a limpar, para não provocar erosão no revestimento: pó de carbonato de cálcio, farinha de casca de noz ou de amêndoa, vidro moído, etc. A pressão de ar tem que ser cuidadosamente controlada para não deteriorar a superfície do revestimento. Alguns dos abrasivos mais usados, como a farinha de sílica, têm riscos para a saúde, quer do aplicador, que deve usar máscara e fato protector, quer de pessoas que permaneçam na zona, pelo que a área de trabalho deve ser protegida. Estes métodos implicam uma lavagem com água a seguir, para retirar o pó produzido.

*Laser* – este método permite uma aplicação muito rigorosa, incidindo apenas sobre os depósitos a remover, mas é ainda muito caro e demorado, além de exigir mão-de-obra muito especializada. Assim, o seu uso tem sido restringido a monumentos com fachadas de pedra, como no caso do Mosteiro dos Jerónimos.

#### *b) Limpeza com água*

Água nebulizada e jactos finos de água – são métodos muito suaves, que promovem o amolecimento dos depósitos, que são depois removidos por escovagem suave ou jactos de água com pressão.

Água quente – a água quente (a 80°C ou mais) melhora a solubilidade de alguns compostos, e pode ser usada para amolecer e remover tintas, solventes e *graffiti*.

Jacto de água – pode ser usado com água fria ou quente (conforme a natureza dos depósitos) de preferência recorrendo a baixas pressões (inferiores a 70 bar), se necessário após amolecimento dos depósitos.

Biocida – a aplicação de biocidas destina-se a eliminar a colonização biológica. Deve ser realizada uma primeira aplicação para matar os microorganismos, deixar actuar, lavar e, em seguida, realizar uma nova aplicação para evitar (durante um certo período de tempo) posterior desenvolvimento. O biocida deve ser seleccionado de entre os aprovados pela regulamentação europeia e nacional em vigor relativa a substâncias tóxicas, sempre em pequenas quantidades e de acordo com o tipo de microorganismo existente, identificado por análises biológicas clássicas ou por métodos mais expeditos e inovadores (Ascaso et al, 2002).

As operações de manutenção e de reparações pontuais englobam, ainda, a reparação de fendas e fissuras, a colmatação de lacunas, a reparação da camada de acabamento e reparações relacionadas com problemas de infiltrações de água e de escorrimentos de água, neste caso abrangendo toda a envolvente e mesmo os sistemas de drenagem de águas exteriores. As técnicas a usar nestes casos são muito diversificadas, correspondendo à diversidade dos problemas, e relativamente conhecidas, envolvendo, no entanto, cuidados específicos relacionados com a mínima deterioração dos elementos antigos e com a compatibilidade dos materiais usados.

A eliminação de eflorações pode ser realizada por meios mecânicos – escovagem a seco com aspiração dos sais removidos – ou através da utilização de emplastos húmidos com absorventes neutros – argila, pasta de papel, algodão – ou embebidos em produtos Químicos capazes de neutralizar ou de dissolver os sais (BSI, 2000b).

### ***2.4.3 – Materiais e técnicas de consolidação e reintegração***

Os tratamentos de consolidação e reintegração envolvem vários tipos de problemas: i) restituição da coesão (Giorgi et al, 2000; Aguiar et al, 2001; Hansen et al, 2003; Buj e Gisbert, 2006; Tavares e Veiga 2006b e 2007); ii) restituição da aderência; iii) colmatação de lacunas; iv) colmatação de fendas e fissuras; v) reintegração cromática.

Estas operações são do domínio do restauro e, como tal, têm que ser realizadas por restauradores e coordenadas por conservadores-restauradores, pois quer o seu planeamento quer a execução exigem conhecimentos especializados.

O objectivo destas acções é restituir e conservar a integridade do revestimento e conferir-lhe um aspecto agradável e legível, sem, no entanto o falsificar, ou seja, sem apagar os traços da intervenção, que devem permanecer visíveis a um olhar treinado. Os tratamentos usados podem ter, em simultâneo, um efeito de protecção da superfície, quer por constituírem camadas sacrificiais, quer por terem características passivantes e neutralizadoras (Hansen, 2003).

A restituição da coesão entre partículas de uma argamassa, tornada friável pela perda de ligante devida a acções físicas ou químicas, é conseguida através da aplicação de produtos consolidantes, orgânicos ou minerais. Os orgânicos são normalmente constituídos por resinas acrílicas, vinílicas ou de silicone e apresentam maior facilidade de aplicação, maior flexibilidade e maior capacidade adesiva (Aguiar et al, 2001), mas são pouco reversíveis e pouco compatíveis, levando a alterações significativas das características físico-químicas da superfície, além de terem durabilidade em geral baixa. Os consolidantes inorgânicos começam a ser, cada vez mais, preferidos, devido à maior compatibilidade, durabilidade e reversibilidade. Os produtos mais conhecidos usados com este fim são o hidróxido de cálcio (água de cal), o hidróxido de bário, o silicato de potássio, o silicato de etilo, o oxalato de cálcio e o tartrato de cálcio (Giorgi et al, 2000; Hansen et al, 2003; Buj et al, 2006). O hidróxido de cálcio é o produto mais compatível com largamassas de cal, mas, devido à fraca solubilidade em água, exige um grande número de aplicações para se obter uma eficácia aceitável. Algum investimento tem vindo a ser feito na melhoria dos métodos de aplicação e de preparação dos consolidantes minerais, principalmente nos mais compatíveis, como o hidróxido de cálcio e o hidróxido de bário, para aumentar a sua eficácia e o seu grau de penetração (Giorgi et al, 2000, Tavares e Veiga, 2006b e 2007).

A restituição da aderência é realizada através da inserção de caldas injectáveis (*grouts*) para preenchimento de vazios entre camadas de revestimento ou entre o revestimento e suporte. Devem ser usadas argamassas de baixa viscosidade, flexíveis, capazes de endurecer no interior das cavidades que preenchem. Argamassas de cal aérea com cal hidráulica ou com adições pozolânicas são soluções possíveis (Paillère e Guinez, 1984; Matero et. al., 1995; Baglioni et al., 1997; Zajadacz e Simon, 2006).

A colmatação de fendas, fissuras e lacunas deve ser feita com argamassas semelhantes às pré-existentes mas com finura do agregado adequada ao espaço a preencher. O pó de

pedra (carbonato de cálcio, pó de mármore ou sílica) pode ser usado para melhorar a compacidade e trabalhabilidade do material. A cor pode ser aproximada à existente através da selecção dos agregados e do pó de pedra e da adição de pigmentos, de preferência inorgânicos (óxidos, extraídos de terras naturais ou preparados industrialmente) (Baronio et al., 1996a; Aguiar, 1999; Scarzella, 1999).

A integração cromática pode ser feita através de várias técnicas – *ilusionismo*, *pontilhismo* ou *trattegio*, por exemplo (Tavares, 2006) – com recurso a velaturas, por exemplo de água de cal com pigmentos.

#### **2.4.4 – Materiais e técnicas de substituição**

As soluções de revestimentos de substituição actualmente usadas são diversificadas, variando desde argamassas muito próximas das argamassas modernas correntes até soluções semelhantes, na sua composição básica, às argamassas antigas, de cal aérea e areia.

Com base nos respectivos ligantes, podem sistematizar-se do seguinte modo:

- Argamassas de cimento
- Argamassas de cal hidráulica natural (NHL 2, NHL 3,5 e NHL 5)
- Argamassas de cal hidráulica artificial (HL 2, HL 3,5 e HL 5)
- Argamassas de cal aérea e cimento
- Argamassas de cal hidráulica e cimento
- Argamassas de cal hidráulica e cal aérea
- Argamassas de cal aérea
- Argamassas de cal aérea aditivada
  - Com pozolanas, pó de tijolo e outros aditivos minerais
  - Com resinas
  - Com hidrófugos (entre os quais o caso particular da “gordura” usada na argamassa D. Fradique) (Quirino da Fonseca, 1996)
  - Com fibras naturais ou artificiais
- Argamassas pré-doseadas para edifícios antigos

Algumas destas argamassas têm inconvenientes bem conhecidos. Assim, as argamassas de cimento são consideradas incompatíveis por muitos autores (Teutónico et al., 1994; Veiga et al., 2004b; Moropoulou et al., 2005a). É sabido que contêm na sua composição elevados teores de álcalis que dão origem a sais solúveis, os quais são transportados para o interior das paredes e lá cristalizam, contribuindo para a sua degradação. Tem-se verificado que também outras características são desfavoráveis, como uma rigidez excessiva e uma capacidade limitada de permitir a secagem da parede (fig. 43). Além disso, apresentam um aspecto final muito diferente das argamassas antigas, em termos, por exemplo, da textura da superfície e do modo como reflectem a luz e da própria cor.

Por outro lado, as argamassas de cal aérea, de composição mais próxima das argamassas antigas, portanto mais capazes de assegurar um aspecto estético compatível e características fisio-químicas adequadas, têm apresentado problemas de durabilidade, principalmente quando expostas à chuva e, principalmente, ao gelo. No entanto, chegaram até aos nossos dias argamassas de cal com centenas e até com milhares de anos, que se apresentam com resistência e coesão superiores a muitas argamassas actuais. Portanto é necessário concluir que é possível executar revestimentos de cal com boa durabilidade, desde que sejam aperfeiçoadas as tecnologias da cal.



Fig. 43 – Revestimentos de cimento incompatíveis com as alvenarias antigas: rigidez excessiva e retenção de água na parede

As argamassas intermédias entre estes dois extremos, como as argamassas de cal hidráulica e as argamassas bastardas de cimento e cal aérea ou hidráulica, procuram melhorar algumas características sem trazer os piores inconvenientes.

As argamassas pré-doseadas têm composições muito variadas, e, em consequência, características e comportamentos diversificados, pelo que terão sempre que ser avaliadas caso a caso (Veiga, 2003; Magalhães e Veiga, 2005; Magalhães et al., 2006). Muitas destas argamassas têm a cal hidráulica como principal ligante, outras são de cal aérea e incorporam adjuvantes hidrófugos ou resinas, outras ainda contêm cimento dito resistente aos sais.

Naturalmente as características destes vários tipos de argamassas só são comparáveis quando determinadas através de métodos de ensaio idênticos. As instituições europeias e mundiais que se dedicam a estes estudos não têm ainda métodos de ensaio harmonizados, pelo que é difícil fazer este tipo de comparações. Com efeito, as normas Europeias para ensaios de argamassas de revestimento – da série EN 1015-1 a EN 1015-21 – não são directamente aplicáveis a argamassas de cal aérea, principalmente devido à cura húmida que preconizam e aos curtos tempos de ensaio que especificam. Um grupo CEN a trabalhar nesta área – o CEN TC 346: *Conservation of Cultural Heritage* – e a Comissão da RILEM RHM *Repair Mortars for Historic Masonry*, que já estão a produzir documentos preliminares nesta área, virão certamente a melhorar esta situação.

Entretanto, apresentam-se nos quadros 3 e 4 alguns resultados com os vários tipos de argamassas enunciados obtidos em ensaios realizados no LNEC, de acordo com métodos idênticos, baseados nas EN 1015 adaptados, quando aplicáveis, para argamassas de cal aérea usando cura seca (a 23°C e 50% HR) com duração não inferior a 90 dias (Margalha, 1997; Veiga, 2003; Veiga et al, 2004b).

Apesar da gama de soluções de argamassas de substituição existentes, continua a sentir-se a falta de soluções satisfatórias, que verifiquem todos os requisitos, de compatibilidade físico-química, durabilidade e estética (fig. 44).



**Quadro 3 – Resultados de ensaios realizados no LNEC com argamassas usadas como revestimentos de substituição**

| ARGAMASSAS DE CAL - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS |  |                          |                         |                         |            |                                   |                        |   |
|--|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|-----------------------------------|------------------------|---|
| ARGAMASSA                                      | COMPOSIÇÃO                               | MVA (kg/m <sup>3</sup> ) | Rt (N/mm <sup>2</sup> ) | Rc (N/mm <sup>2</sup> ) | VD* (mm/m) | Permeância (ng/m.s.Pa) / SD** (m) | E (N/mm <sup>2</sup> ) | C(10-90) (kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup> ) |
|  |  | 28-90                    | 28-90                   | 28-90                   | 28-90      | 28                                | 28-90                  | 28-90   |
| Ca-0 <sup>(1)</sup>                            | 0:1:3+0                                  | 1780-1780                | 0,2- 0,2                | 0,4- 0,5                | 0,05-0,05  | 23,5 / 0,08                       | 2120-2390              | 11,5 - 10,9                                     |
| Ca-1 <sup>(1)</sup>                            | 0:1:2,8+0,2                              | 1810-1810                | 0,4-0,4                 | 0,6-0,9                 | 0,16-0,16  | 23,0 / 0,08                       | 2720-3050              | 10,5 - 10,6                                     |
| Ci-Ca-0 <sup>(1)</sup>                         | 1:3:11+1                                 | 1870-1870                | 0,6-0,7                 | 2,1-2,5                 | 0,19-0,19  | 18,9 / 0,10                       | 3930-4180              | 12,4 - 10,9                                     |
| Ca-2 <sup>(1)</sup>                            | 0:1:0,67+2                               |                          | 0,2-0,2                 | 0,4-0,6                 |            | 14,3 / 0,07                       | 1290-1490              | 21,1-nd   |
| Ca-3 <sup>(1)</sup>                            | 0:1:1,5+1,5                              |                          | 0,1-0,2                 | 0,2-0,3                 |            | 17,4 / 0,05                       | 1340-1490              | 17,3-nd   |
| Ca-F <sup>(1)(2)</sup>                         | 0:1:1,5+1,5                              | 1610                     |                         |                         |            | 29,1 / 0,06                       |                        | 0,13-nd   |
| Ca-4 <sup>(1)</sup>                            | 0:1:1,5+1,5                              | 1780                     |                         |                         |            | 26,5 / 0,07                       |                        | 10,2-nd   |
| Ca-5 <sup>(3)(6)</sup>                         | 0:1:2                                    | 1830-1800                | 0,40-0,43               | 0,60-1,22               | 0,12-0,15  |                                   | 3710-3730              | 12,1-nd   |
| Ca-6 <sup>(3)(6)</sup>                         | 0:1:3                                    | 1870-1820                | 0,32-0,39               | 0,71-0,85               | 0,11-0,14  |                                   | 4040-4070              | 9,9-nd  |
| Ca-7 <sup>(3)(6)</sup>                         | 0:1:4                                    | 1820-1820                | 0,32-0,32               | 0,61-0,74               | 0,04-0,07  |                                   | 3770-3790              | 10,1-nd   |
| Ca-8 <sup>(4)(6)</sup>                         | 0:1:3                                    | 1830-1800                | 0,32-0,33               | 0,41-0,63               | 0,06-0,05  |                                   | 3260-3320              | 19,2-nd   |
| Ca-9 <sup>(5)(6)</sup>                         | 0:1:3                                    | 1890-1900                | 0,34-0,43               | 0,51-0,99               | 0,06-0,07  |                                   | 4390-4400              | 13,2-nd   |
| I-Ca   | Industrial com base em cal aérea         | 1590-nd                  | 0,40-nd                 | 0,98-nd                 | 0,39-0,44  | 26,9 / 0,07                       | 1640-nd                | 1,00***   |
| I-H  | Industrial de cal aérea e cal hidráulica | 1710-nd                  | 0,63-nd                 | 1,48-nd                 | 0,34-0,40  | 33,9/0,06                         | 2740-nd                | 0,93***   |
| Ci-0   | 1:0:2+2                                  | 1880-nd                  | 1,1-nd                  | 3,2-nd                  | 0,23-0,25  | 22,4/0,09                         | 6165-6410              | 12,6-nd   |
| Ci-Ca-1  | 1:1:3+3                                  | 1760-nd                  | 0,8-nd                  | 2,9-nd                  | 0,30-0,49  | 18,3-0,10                         | 4770                   | 14,2-nd   |
| Ca-10 <sup>(1)</sup>                           | 0:1:1,5+1,5                              |                          | 0,3-0,3                 | 0,5-0,8                 | 0,11-nd    |                                   | 1810-2000              | 11,7-11,1                                       |
| Ca-Pz <sup>(1)</sup>                           | 0:1:1:4                                  |                          | 0,2-0,1                 | 0,6-0,5                 | 0,28-0,34  |                                   | 3640-3260              | 21,4-20,2                                       |

nd – não determinado

\*A retracção inicial (antes da desmoldagem) não é contabilizada e nas argamassas de cal é muito elevada, portanto os valores da retracção medidos são pouco significativos para essas argamassas.

\*\* SD é a espessura da camada de ar de difusão equivalente e relaciona-se com a permeância.

\*\*\*Coeficiente de capilaridade às 24 h.

(1) Obtido em estudo realizado pelo LNEC da autora ou com participação da autora; (2) cal aérea hidrofugada; (3) cal parda (magnésiana); (4) cal de "Montes Claros"; (5) cal de "Alcanede"; (6) extraído de Dissertação de Mestrado de Maria Goreti Margalha (Margalha, 1997) (ensaios realizados no LNEC).

MVA – Massa volúmica aparente; Rt – Resistência à tracção por flexão; Rc – Resistência à compressão; VD – Variações dimensionais; PVA – Permeabilidade ao vapor de água; E – Módulo de elasticidade dinâmico; C (90-10) – Coeficiente de capilaridade entre os 90 minutos e os 10 minutos.

**Quadro 4 – Resultados de ensaios realizados no LNEC com argamassas usadas como revestimentos de substituição (cont.)**

| ARGAMASSA              | COMPOSIÇÃO                               | POROSIDADE (%) | ADERÊNCIA (MPa) | RETRACÇÃO RESTRINGIDA |       |           | COMPORTAMENTO À ÁGUA |       |          |
|------------------------|--|----------------|-----------------|-----------------------|-------|-----------|----------------------|-------|----------|
|                        |  |                |                 | Frmax; G (N; N.mm)    | CSAF  | CREF (mm) | M (h)                | S (h) | H (mv.h) |
| Ca-0 <sup>(1)</sup>    | 0:1:3+0                                  | 28,9           | n. d.           | 58; 58                | 2,5   | 1,01      | 0,10                 | 110   | 15500    |
| Ca-1 <sup>(1)</sup>    | 0:1:2,8+0,2                              | 29,6           | n. d.           | 53; 44                | 1,7   | 0,81      | 0,10                 | 90    | 15260    |
| Ci-Ca-0 <sup>(1)</sup> | 1:3:11+1                                 | n. d.          | n. d.           | 72; 62                | 3,8   | 0,89      | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-2 <sup>(1)</sup>    | 0:1:0,67+2                               | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-3 <sup>(1)</sup>    | 0:1:1,5+1,5                              | n. d.          | C               | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-F <sup>(1)(2)</sup> | 0:1:1,5+1,5                              | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | 25,80                | 14    | 910      |
| Ca-4 <sup>(1)</sup>    | 0:1:1,5+1,5                              | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | 0,03                 | 224   | 57760    |
| Ca-5 <sup>(3)(6)</sup> | 0:1:2                                    | n. d.          | C - 0,03        | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-6 <sup>(3)(6)</sup> | 0:1:3                                    | n. d.          | C - 0,04        | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-7 <sup>(3)(6)</sup> | 0:1:4                                    | n. d.          | C+A - 0,08      | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-8 <sup>(4)(6)</sup> | 0:1:3                                    | n. d.          | C+A - 0,11      | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-9 <sup>(5)(6)</sup> | 0:1:3                                    | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| I-Ca                   | Industrial com base em cal aérea         | n. d.          | A - 0,11        | 68; 46                | 2,1   | 0,7       | 0,60                 | 560   | 49790    |
| I-H                    | Industrial de cal aérea e cal hidráulica | n. d.          | C+A - 0,09      | 54; 27                | 3,8   | 0,6       | 0,75                 | 450   | 36720    |
| Ci-0                   | 1:0:2+2                                  | n. d.          | A - 0,07        | 135; 60               | 1,9   | 0,5       | 0,10                 | 120   | 14000    |
| Ci-Ca-1                | 1:1:3+3                                  | n. d.          | C+A - 0,10      | 49; 58                | 3,0   | 1,18      | 0,10                 | 90    | 10870    |
| Ca-10 <sup>(1)</sup>   | 0:1:1,5+1,5                              | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |
| Ca-Pz <sup>(1)</sup>   | 0:1:1:4                                  | n. d.          | n. d.           | n. d.                 | n. d. | n. d.     | n. d.                | n. d. | n. d.    |

A – rotura adesiva; C – rotura coesiva

(1) Obtido em estudo realizado pelo LNEC da autora ou com participação da autora; (2) cal aérea hidrofugada; (3) cal parda (magnésiana); (4) cal de "Montes Claros"; (5) cal de "Alcanede"; (6) extraído de Dissertação de Mestrado de Maria Goreti Margalha (Margalha, 1997) (ensaios realizados no LNEC).

MVA – Massa volúmica aparente; Rt – Resistência à tracção por flexão; Rc – Resistência à compressão; VD – Variações dimensionais; PVA – Permeabilidade ao vapor de água; E – Módulo de elasticidade dinâmico; C (90-10) – Coeficiente de capilaridade entre os 90 minutos e os 10 minutos; Fr<sub>máx</sub> – Força máxima originada por retracção restringida [22]; G – Energia de rotura por tracção [22]; CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda [22]; CREF – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação [22]; M – Atraso na molhagem [28]; S – Período de humedecimento [28]; H – Intensidade de molhagem [28]



Fig. 44 – Aplicações experimentais e ensaios laboratoriais sobre argamassas de substituição com base em cal

Muitos estudos têm sido feitos sobre esta matéria, com abordagens mais teóricas ou mais práticas, mais éticas ou mais funcionais, mais fundamentalistas ou mais pragmáticas. Em Portugal, nos últimos dez anos, foram apresentadas várias Dissertações de Mestrado e de Doutoramento nesta área, podendo-se exemplificar com as seguintes, entre outras: Goreti Margalha (Mestrado), Luís Cavaco (Mestrado), Abel Soeiro (Mestrado), Paulina Faria Rodrigues (Doutoramento), Vasco Rato (Doutoramento), Ana Velosa (Doutoramento), Teresa Gonçalves (Doutoramento).

No entanto, esta é também uma área em que quanto mais se estuda mais parece faltar fazer, surgindo sempre novas linhas de investigação, nomeadamente na área das argamassas com base em cal aérea, que são certamente as mais compatíveis, mas cuja viabilidade exige ainda melhorias significativas.

Assim, Goreti Margalha estudou argamassas de cal aérea com vários traços e vários tipos de cal e concluiu pela sua viabilidade e vantagens (Margalha, 1997 e 1998), mas concluiu também pela necessidade de aprofundar esse estudo, analisando a influência do método de preparação da cal, do seu tempo de cura e da sua origem e composição, temas que está a abordar na sua Dissertação de Doutoramento.

Paulina Faria Rodrigues estudou em laboratório, principalmente dos pontos de vista físico e mecânico, várias composições de argamassas com base em cal, incluindo argamassas com pozolanas naturais e artificiais, sob diversas condições. Mas no final

muitas dúvidas ficaram sobre a razão de ser dos resultados e a sua coerência e sobre o modo como essas características afectam na realidade o comportamento e a durabilidade em obra (Rodrigues, 2004).

Essas dúvidas foram exploradas no trabalho de Ana Velosa, em que se procura aprofundar o conhecimento das reacções pozolânicas, os mecanismos de actuação das diferentes pozolanas, a durabilidade das argamassas com estes aditivos e relacionar todos esses aspectos com o comportamento e a durabilidade das argamassas antigas (Velosa, 2006).

Luís Cavaco tirou conclusões interessantes sobre a influência significativa das técnicas de aplicação, mas principalmente abriu caminho para novos estudos a realizar para precisar esta área (Cavaco, 2005).

Vasco Rato estudou a influência da granulometria das areias na estrutura porosimétrica das argamassas com vários tipos de ligantes aéreos e hidráulicos e, em consequência, também a influência nas principais características da argamassa. No entanto, a vastidão do estudo fez com que se restringisse às areias siliciosas e, dentro destas, a um número reduzido de curvas granulométricas, que incluíram areias monogranulares e poucas misturas destas granulometrias-base (Rato, 2006). Assim, as consequências práticas imediatas do estudo foram limitadas, embora tenha certamente aberto caminho para estudos mais aprofundados nessa área.

Teresa Gonçalves analisou o comportamento dos revestimentos em paredes contaminadas com sais, aprofundou os mecanismos de degradação dos revestimentos e das paredes sujeitos à acção dos sais e delineou os princípios para a selecção de soluções apropriadas para essas situações (Gonçalves, 2007).

Como síntese dos trabalhos desenvolvidos fica a ideia de que o bom comportamento das argamassas depende, de facto, do ligante utilizado e da sua composição, do agregado, das condições de cura, das condições de execução e, finalmente, das condições de exposição e de utilização, incluindo o próprio suporte. Estes parâmetros condicionam fortemente a estrutura porosa da argamassa, que por sua vez define o comportamento em relação à água e às acções externas em geral.

## 2.5 - Critérios de compatibilidade

De acordo com o conhecimento actual, a selecção e o desenho das soluções de revestimentos de substituição, devem basear-se em critérios de compatibilidade com os elementos pré-existentes. A definição de compatibilidade tem sido discutida por muitos investigadores e levanta ainda muita polémica (Baronio et al., 1996b e 1996c; Ma, 1995; Von Konow, 1997b; Veiga e Carvalho, 1998, Veiga, 1999; Papayianni, 1998, 2000 e 2005; Moroupoulou, 1998; Moropoulou et al., 1998 e 2005a; Zacharapoulou, 1998; Delgado Rodrigues, 1998; Valek e Hugues, 2000; Callebaut et al., 2000; Groot et al, 2000; Veiga et al. 2001; Veiga e Carvalho, 2002; Lanas e Alvarez, 2003; Maravelaki-Kalaitzaki, 2003; Veiga et al, 2004b; Veiga, 2005; Hayen e Van Balen, 2005, Bromlet et al, 2005, Henriques, 2005, Delgado Rodrigues e Grossi, 2006, entre outros).

Os autores referenciados desenvolveram conceitos que têm vindo a ser discutidos pela comunidade científica em vários eventos e ultimamente numa Comissão da RILEM à qual a maior parte deles pertence: RILEM TC RHM *Repair mortars for Historic Masonry*.

Em 1995, Baronio, e Saisi, do Instituto Politécnico de Milão (Baronio et al, 1996b), propõem como principais características para a selecção de argamassas de substituição a resistência à compressão e o módulo de elasticidade em compressão.

Em 1997, Thorborg Von Konow, da Finlândia, na sua Dissertação de Doutoramento e em comunicações (Von Konow, 1997a e 1997b), considera que as argamassas de substituição devem ser de cal aérea mas doseadas de forma a garantir boa durabilidade, nomeadamente no que se refere à resistência ao gelo. Para isso são fundamentais a porosidade e a absorção de água, principalmente a diferença entre a taxa de absorção entre 0-5 minutos e entre 10-30 minutos. Com efeito, os poros grandes absorvem água mais rapidamente que os poros pequenos, portanto a absorção rápida (taxa 0-5 min) significa poros grandes e grande susceptibilidade ao gelo. O tempo de secagem é também significativo e a massa volúmica e o módulo de elasticidade, são ainda correlacionáveis com a resistência ao gelo. A granulometria da areia tem muito importância para atingir este desempenho. Estes princípios continuam a ser defendidos actualmente por Von Konow na TC RHM.

Também em 1997 Sasse e Snethlage (Sasse e Snethlage, 1997) apontam os seguintes aspectos como determinantes na definição de compatibilidade de argamassas, embora referindo-se a argamassas de reparação de alvenaria de pedra: características de transporte de água; características de deformação térmica e hídrica; resistência mecânica; módulo de elasticidade; aderência; características visuais (grão, textura, cor).

Em 1998, a autora grega Ioanna Papayianni (Papayianni, 1998) propõe como critérios de compatibilidade: aparência; resistência mecânica; módulo de elasticidade; porosidade e coeficiente de dilatação térmica.

Propõe ainda que a formulação da argamassa de substituição seja feita por aproximações sucessivas, não à composição das argamassas antigas, mas às características daquelas (método holístico).

Em 2000, Papayianni (Papayianni e Stefanidou, 2000) continua a defender o método holístico, para aproximação iterativa das características das argamassas de substituição às das argamassas originais, considerando fundamentalmente as características funcionais, como a resistência mecânica, a porosidade e o módulo de elasticidade. Propõe para isso argamassas de cal e areia ou de cal, pozolana e areia e a introdução de fibras de polipropileno. Em 2005 (Papayianni, 2005) mantém a opinião de que os factores de compatibilidade a considerar devem ser as resistências à flexão e à compressão, o módulo de elasticidade, a porosidade e a estrutura porosa e, ainda o coeficiente de dilatação térmica; defende também que aspectos como as características dos materiais de base, a preparação e a aplicação da argamassa têm que ser estudados e definidos para conseguir argamassas com bons desempenhos e admite que o uso de fracas dosagens de cimento e de super-plastificantes podem melhorar o comportamento de argamassas de cal aérea.

Em 1998, Zacharopoulou (Zacharopoulou, 1998) considera que, para a concepção de argamassas de substituição, devem ser usados critérios de selecção específicos conforme a função: estrutural, de revestimento (reboco ou refechamento de juntas) ou decorativa. Esta ideia é retomada por Papayianni (Papayianni, 2005) e por Henriques (Henriques, 2005).

Para edifícios antigos comuns Zacharopoulou propõe argamassas pré-doseadas com base em cal que obedeçam a todas as exigências específicas; para monumentos

históricos considera que deve ser preservada a autenticidade em materiais e mão-de-obra.

Em 1998, Moropoulou (Moropoulou e Bakolas, 1998 e Moropoulou et al., 1998) propõe as seguintes características fundamentais para caracterizar argamassas de substituição: módulo de elasticidade (determinado por ultra-sons); comportamento físico-Químico dos sistemas capilares (termografia de infra-vermelho); aderência matriz-agregados e argamassa-suporte; microestrutura; porosidade; dureza; resistência mecânica e coeficiente de dilatação térmica.

Em 2005, os mesmos autores gregos e outros (Moropoulou et al, 2005a, 2005b e 2005c) recordam que, ao longo dos séculos, as argamassas históricas provaram ser compatíveis com as alvenarias antigas e ser duráveis sob solicitações mecânicas e ambientais severas, por isso a formulação de materiais de restauro deve simular, por aproximações iterativas, os materiais históricos, definindo, assim, o conceito de *engenharia inversa*. A utilização de argamassas com base em cimento nas últimas décadas tem levado a numerosos insucessos e à aceleração da degradação nos materiais e elementos originais das estruturas antigas. Estes resultados, reportados por diversos autores (Fassina, 1993, citado por Moropoulou et al, 2005c; Teutónico, 1994; Moropoulou et al, 2005c), conduzem à conclusão de que os materiais com base em cimento são incompatíveis com as alvenarias antigas. No entanto e apesar de publicar trabalhos sobre esta matéria há vários anos, Moropoulou considera que o conceito de compatibilidade não é ainda claro, principalmente porque os materiais de substituição são estudados em laboratório, em condições de cura muito diferentes das reais e durante pouco tempo (normalmente poucos meses) comparado com os longos anos de exposição dos materiais históricos. Como as reacções da cal e dos componentes pozolânicos usados antigamente são muito lentas, estes materiais só atingem a resistência mecânica máxima e a estabilidade físico-química a longo prazo e só nessa situação seria possível fazer comparações. Os resultados aos 15 meses que apresenta (Moropoulou, 2005a) não mostram ainda estabilização. É necessário estudar os materiais de base e os seus processos de produção e relacionar estes dados com os resultados de ensaios físico-Químicos obtidos para as argamassas preparadas com eles (Moropoulou, 2005b). Só um grande número de resultados, tratados por métodos estatísticos, permitirá estabelecer exigências correctas (Moropoulou, 2005c).

Os autores espanhóis Lanas e Alvarez (Lanas e Alvarez, 2003) afirmam que a compatibilidade entre a argamassa de reparação e os componentes originais da alvenaria é fundamental, dos pontos de vista Químico, físico (principalmente ao nível da solubilidade e do transporte de água) e mecânico (as resistências têm que ser semelhantes). Referem ainda que durante o século XX se usaram argamassas de reparação com base em cimento e que tal originou inúmeros danos nas alvenarias antigas, devido à incompatibilidade, que foi claramente estabelecida, por ex. por Degryse, Moropoulou e Rodriguez-Navarro: excessivo teor de sais solúveis, menor permeabilidade à água, retendo um excesso de água que provoca fenómenos de alteração, alta resistência à compressão, o que restringe as deformações necessárias ao acompanhamento dos movimentos da alvenaria (fluência e efeitos térmicos) e leva à instalação de tensões (Hendry, 2001).

Os autores, de Creta e da Grécia, Maravelaki-Kalaitzaki, Bakolas e Moropoulou (Maravelaki-Kalaitzaki et al., 2003) afirmam que as argamassas de cimento são inadequadas e incompatíveis com as alvenarias antigas, devido ao seu alto teor de sais solúveis. Os métodos de produção do cimento e da cal hidráulica são em parte responsáveis por esses problemas, devido às temperaturas de cozedura usadas. Por isso, os autores consideram da maior importância estudar as técnicas antigas de produção dos materiais constituintes e de preparação das argamassas.

Os autores belgas Hayen e Van Balen (Hayen R. e Van Balen, 2005) têm uma abordagem mais abrangente do conceito de compatibilidade. Consideram também a necessidade de usar argamassas compatíveis com o tecido histórico dos pontos de vista Químico, físico e mecânico e admitem que a análise das argamassas antigas contribui para guiar o estudo dos requisitos a estabelecer para as argamassas de reparação. No entanto, consideram que um primeiro obstáculo a ultrapassar passa pelo conhecimento exacto dos constituintes a usar nas novas argamassas, ou seja, por uma caracterização suficiente para que seja possível especificá-los sabendo exactamente o que vai ser colocado em obra. Isso, neste momento, não é possível, dado que uma cal aérea, ou uma cal hidráulica de uma dada classe (por ex. NHL 3,5) podem ter composições variadas e características muito diferentes. Assim, este autor considera necessário: i) estabelecer requisitos técnicos para os materiais a usar em função das condições “de fronteira” – clima, presença de humidade, presença de sais solúveis – e das



características dos materiais. ii) estruturar o conhecimento das propriedades dos materiais de modo a transpor os requisitos para o comportamento e interação com o tecido histórico; iii) transformar essa informação em especificações e indicações claras quer para os técnicos quer para os operários que realizam o trabalho.

Bromblet e outros, de França (Bromblet et al., 2005) descrevem a compatibilidade de argamassas recorrendo às principais características – resistência à compressão, resistência à flexão, aderência, capilaridade, porosidade, teor de sais, envelhecimento artificial acelerado e ainda retracção e tempos de presa – e à comparação entre os valores obtidos para as argamassas e os valores de referência resultantes da caracterização dos suportes ou dos elementos a aglomerar.

Delgado Rodrigues e Grossi (Delgado Rodrigues e Grossi, 2006), desenvolveram uma metodologia de classificação da compatibilidade quantificada, definindo vários parâmetros e pesos atribuídos a cada um. O método implica a definição de graus de compatibilidade para cada parâmetro, situando-se portanto a jusante das restantes abordagens referidas.

Em algumas publicações (Veiga e Carvalho, 1998; Veiga, 1999; Veiga et al., 2001; Veiga e Carvalho, 2002; Veiga et al, 2004b), a autora deste trabalho abordou também este problema e procurou estabelecer uma definição de argamassas compatíveis, baseada num conjunto de requisitos, que se resumem a seguir:

- **Não degradar os elementos pré-existentes.** Os revestimentos de substituição não devem degradar os elementos pré-existentes com os quais estão em contacto. Este requisito, sem dúvida o mais importante, implica que os novos revestimentos não transmitam tensões elevadas aos elementos em contacto; não contribuam para reter a água no interior da parede ou para alterar o seu transporte de forma a que esta passe a atravessar mais frequentemente elementos antigos, degradando-os; não contenham sais solúveis que possam contaminar os elementos em contacto; não comprometam os elementos mais antigos devido a irreversibilidade de aplicação ou a irreparabilidade. As características principais para cumprir este requisito são numerosas e contrariam muitas vezes as ideias mais correntes: módulo de elasticidade moderado, resistência mecânica moderada, aderência moderada e inferior à coesão do suporte, permeabilidade ao vapor de água elevada, teores de

álcalis e de sais solúveis reduzidos. Para muitas paredes antigas, sujeitas à acção dos sais solúveis, o comportamento aos sais é um aspecto determinante, que exige uma análise complexa do sistema revestimento-suporte (Petkovic, 2005; Gonçalves, 2007).

- **Ter capacidade para proteger os elementos mais antigos.** Os revestimentos de substituição devem cumprir a principal função dos revestimentos, que consiste em proteger o suporte da água, das acções externas de choque e erosão e das solicitações de natureza química e biológica. Este requisito implica alguma resistência mecânica, alguma capacidade de impermeabilização à água e elevada permeabilidade ao vapor de água, resistência química e biológica e elevada durabilidade (fraca fissurabilidade, resistência às variações climáticas, ao gelo e aos sais).
- **Não descaracterizar o edifício.** Os revestimentos de substituição não devem alterar a imagem de forma a descaracterizá-la. Este requisito exige semelhança de aspecto (textura, coloração, reflexão da luz, etc.) a curto prazo e envelhecimento semelhante, o que em geral implica materiais da mesma natureza.

Nos estudos referidos, a autora deste trabalho, em conjunto com outros investigadores, procura quantificar exigências para as características que considera mais relevantes para o cumprimento dos requisitos de compatibilidade, tendo como base a experiência adquirida no estudo de argamassas antigas e de argamassas de cal preparadas em laboratório.

Transcrevem-se algumas dessas exigências nos quadros 5 a 8.

**Quadro 5 – Requisitos gerais para características mecânicas de argamassas de substituição de edifícios antigos**

| Argamassa                     | Características mecânicas aos 90 d (MPa)  |                          |                        | Aderência ao suporte (MPa)   | Comportamento às forças desenvolvidas por retracção restringida (N)                              |
|-------------------------------|---|--------------------------|------------------------|--|--|
|                               | Resistência à flexão  | Resistência à compressão | Módulo de elasticidade |  |  |
| <b>Reboco exterior</b>        | Características mecânicas semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte. |                          |                        | Resistência ao arrancamento inferior à resistência à tracção do suporte: a rotura nunca deve ser coesiva pelo suporte. | Força máxima desenvolvida por retracção restringida inferior à resistência à tracção do suporte. |
| <b>Reboco interior</b>        |   |                          |                        |  |  |
| <b>Refechamento de juntas</b> |   |                          |                        |  |  |

**Quadro 6 – Requisitos gerais para características de comportamento à água e ao clima de argamassas de substituição de edifícios antigos**

| Argamassa                     | Comportamento à água – Ensaio clássico aos 90 d   |                              |  | Comportamento térmico  |
|-------------------------------|---|------------------------------|--|--|
|                               | Permabilidade ao vapor de água  | Coefficiente de capilaridade | Porosidade   | Características térmicas   |
| <b>Reboco exterior</b>        | Capilaridade e permeabilidade ao vapor de água semelhantes às argamassas originais e superiores às do suporte |                              | Porosidade e porosimetria semelhantes às das argamassas originais e com maior percentagem de poros grandes que o suporte | Coeficiente de dilatação térmica e condutibilidade térmica semelhantes aos das argamassas originais e à do suporte |
| <b>Reboco interior</b>        |   |                              |  |  |
| <b>Refechamento de juntas</b> |   |                              |  |  |

**Quadro 7 – Limites estabelecidos para características mecânicas das argamassas quando não são conhecidas as características do suporte**

| Argamassa              | Características mecânicas (MPa) |           |           | Aderência (MPa)                         | Comportamento à retracção restringida* |          |       |           |
|------------------------|---------------------------------|-----------|-----------|---|--|----------|-------|-----------|
|                        | Rt                              | Rc        | E         |   | F <sub>rmáx</sub> (N)                  | G (N.mm) | CSAF  | CREf (mm) |
| <b>Reboco exterior</b> | 0,2 – 0,7                       | 0,4 – 2,5 | 2000-5000 | 0,1 – 0,3 ou rotura coesiva pelo reboco | < 70                                   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     |
| <b>Reboco interior</b> | 0,2 – 0,7                       | 0,4 – 2,5 | 2000-5000 |   | < 70                                   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     |
| <b>Juntas</b>          | 0,4 - 0,8                       | 0,6 – 3   | 3000-6000 | 0,1 – 0,5 ou rotura coesiva pela junta  | < 70                                   | > 40     | > 1,5 | > 0,7     |

Rt – Resistência à tracção; Rc – Resistência à compressão; E – Módulo de elasticidade; F<sub>rmáx</sub> – Força máxima induzida por retracção restringida; G – Energia de rotura à tracção; CSAF – Coeficiente de segurança à abertura da 1ª fenda; CREf – Coeficiente de resistência à evolução da fendilhação.

\* Valores determinados por método desenvolvido pela autora, descrito, por ex., em (Veiga et al, 2007a)

**Quadro 8 – Limites estabelecidos para características de comportamento à água e ao clima quando não são conhecidas as características do suporte**

| Argamassa              | Comportamento à água |                                       |                         |       |          | Envelhecimento artificial acelerado             |
|------------------------|----------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------|----------|---|
|                        | Ensaio clássico      |                                       | Ensaio com humidímetro* |       |          |   |
|                        | S <sub>D</sub> (m)   | C kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup> | M (h)                   | S (h) | H (mv.h) |   |
| <b>Reboco exterior</b> | < 0,08               | < 12; > 8                             | > 0,1                   | < 120 | < 16 000 | Médio: degradação moderada nos ciclos água/gelo |
| <b>Reboco interior</b> | < 0,10               | -                                     | -                       | < 120 | -        |   |
| <b>Juntas</b>          | < 0,10               | < 12; > 8                             | > 0,1                   | < 120 | < 16 000 |   |

S<sub>D</sub> - espessura da camada de ar de difusão equivalente (valor relacionado com a permeância); C - coeficiente de capilaridade; M – atraso na molhagem; S – período de humedecimento; H – intensidade de molhagem.

\* Valores determinados por método desenvolvido no LNEC, descrito, por ex., em (Veiga, 2005)

De um modo geral, os conceitos apresentados pelos vários autores têm vindo a convergir para ideias concordantes, embora não idênticas, e o desafio da Comissão da RILEM TC-RHM é estabelecer requisitos aceitáveis por todos e, além disso, lançar as bases para regular o modo de avaliação desses requisitos em termos práticos e realistas.

Actualmente (Maio de 2007) encontram-se em discussão documentos-base com contributos de vários membros daquela Comissão, entre os quais a autora deste trabalho.

## **2.6 – Durabilidade**

Os revestimentos têm um papel protector pelo que são, de certo modo, camadas sacrificiais. Por outro lado, as intervenções em edifícios antigos, embora se destinem a preservar, preferencialmente, os elementos mais antigos, devem garantir essa protecção durante períodos de tempo razoáveis. Assim, os revestimentos de substituição e os revestimentos sujeitos a tratamentos de consolidação devem ter alguma durabilidade, sob pena de se tornarem economicamente inviáveis.

A avaliação da durabilidade de revestimentos de paredes em geral e de argamassas em particular tem sido realizada através de ensaios variados, dependentes dos materiais, das condições e dos objectivos dos investigadores que os desenvolvem. Essa diversidade deve-se à inexistência, até ao momento, de um método de ensaio consensual, que reproduza acções semelhantes às reais de forma mais intensa, gerando mecanismos de degradação idênticos aos existentes mas mais rápidos, ou seja um método de ensaio de envelhecimento artificial acelerado verdadeiramente correlacionável com o envelhecimento natural. Por outro lado, a avaliação dos resultados dos vários ensaios de envelhecimento artificial aplicados, ou seja, a medição da degradação causada e a correlação dos resultados com os do envelhecimento natural, não está assegurada de forma satisfatória (Knofel et al, 1987).

De um modo geral, os ensaios de envelhecimento artificial acelerado usados são ensaios de simulação das acções climáticas, aos quais se começaram a juntar, recentemente, ensaios de simulação das acções ambientais mais agressivas. Nos ensaios climáticos, as acções mais frequentemente simuladas são o gelo-degelo, a chuva-secagem e as variações de temperatura (ASTM, 1997; CSTB, 1993; RILEM, 1998; CEN, 2002;

Veiga e Carvalho, 1998; Samarasinghe e Lawrence, 2002; Waldum e Anda, 1999; Velosa e Veiga, 2006). A acção dos raios ultra-violeta do sol também é considerada nalguns casos, quando existem constituintes orgânicos (pinturas, adjuvantes, aditivos). Os ensaios de exposição à acção dos sais – por imersão total ou parcial em soluções salinas ou por nevoeiro salino – podem ser ensaios de simulação climática ou de simulação ambiental conforme os sais usados, as concentrações e os tipos de ensaio. No entanto, embora haja ensaios deste tipo para outros materiais porosos, em alguns casos já sob a forma de normas (CEN, 1999; ASTM, 2005; Cruz et al, 2007) quase não se encontram em bibliografia estes ensaios aplicados a argamassas, com excepção de algumas referências muito recentes (Velosa e Veiga, 2006; Gonçalves, 2007).

A avaliação dos resultados não dispensa, em geral, a análise visual por um observador treinado e envolve, por vezes, a medição directa ou indirecta da variação da resistência mecânica, do comportamento à água e da aderência.

## **2.7 - Planos de manutenção**

A manutenção é definida na ISO 15668-1 (ISO, 2000) como a combinação de todas as acções técnicas e administrativas que permitem que o edifício e seus elementos desempenhem, durante a vida útil, as funções para as quais foram concebidos (Flores-Colen, 2006).

Naturalmente, este conceito tem que ser adaptado no caso dos edifícios antigos, pois muitas vezes o objectivo não é a continuação do desempenho das mesmas funções, mas sim a preservação, na medida do possível, da identidade funcional, material e formal. Por outro lado, a escala de tempo é diferente e muito mais alargada que nos edifícios recentes. Finalmente, o conceito de vida útil dá lugar a conceitos mais alargados e variáveis, de novo, com o valor do edifício envolvendo as ideias de memória, testemunho e símbolo.

Para preservar o bom estado de conservação dos edifícios antigos e, nomeadamente, dos seus revestimentos, evitando ou adiando intervenções de reparação ou de substituição, é necessário recorrer à Manutenção preventiva estabelecendo Planos de Manutenção.

Também após as intervenções, demoradas e onerosas, é essencial potenciar a sua durabilidade através de Planos de Manutenção, que deverão ser estabelecidos para determinados casos-tipo, extrapoláveis depois para outros casos.

Um plano de observações periódicas, com registo, numa ficha própria, do estado de conservação e dos indícios de anomalias detectados é, em todos os casos, indispensável, podendo a periodicidade e a complexidade das observações a realizar depender do “valor” do edifício e das situações de risco existentes. Estas observações permitem um crescente conhecimento do comportamento em serviço dos elementos construtivos e dos agentes de degradação precoce e reduzem o número de anomalias imprevistas e de intervenções invasivas.

É necessário definir o tipo de anomalias que exigem reparação rápida, o grau de severidade a partir do qual é necessário actuar e ainda os indícios que implicam monitorização para acompanhar a evolução do problema.

As técnicas a utilizar nas reparações pontuais e operações de consolidação foram já objecto de reflexão em 2.4. Os restantes aspectos – a elaboração da Ficha, o estabelecimento de regras de observação e de actuação, as técnicas de monitorização – embora tenham sido parcialmente tratados, a vários níveis, em alguns estudos anteriores (Binda et al., 2000; Cotrim, 2004; Flores-Colen e Brito, 2004; Flores-Colen et al, 2006) deverão ser desenvolvidos, sistematizados e adaptados aos nossos edifícios históricos e aos seus problemas concretos.

### **3. PROJECTOS DE INVESTIGAÇÃO EM CURSO NO LNEC**

#### **3.1 – Envolvimento do LNEC em Projectos de Investigação**

O LNEC tem estado recentemente envolvido em projectos – que lidera ou em que participa – na área da conservação de revestimentos antigos, quer a nível Europeu, quer a nível nacional, em parceria com outras instituições de investigação (Universidades nacionais e estrangeiras, Institutos estrangeiros), com entidades públicas diversas (autarquias, IPPAR, DGEMN) e com empresas.

#### **3.2 – Projectos de Investigação internacionais**

Dos projectos internacionais, as principais iniciativas têm cabido ao Dr. Delgado Rodrigues, tendo a autora deste trabalho coordenado também alguns, de âmbito mais reduzido.

Destacam-se os seguintes projectos internacionais:

**Projecto Eureka E! 1992 Ancient Renders - *Methodologies for Characterisation, Maintenance and Repair of Renders for Ancient Buildings* (1999-2002).**

Este Projecto, de âmbito europeu e sediado no LNEC, envolveu também uma empresa portuguesa, parceiros eslovenos (uma Universidade e uma empresa) e parceiros espanhóis (um Centro de Investigação).

Este projecto visou desenvolver uma metodologia sistemática para guiar as intervenções de conservação nos revestimentos e juntas de edifícios antigos. Pretendeu também definir e quantificar exigências para materiais de substituição e estabelecer metodologias experimentais para verificar essas exigências. Finalmente, procurou lançar as bases para a formulação de argamassas pré-doseadas para revestimentos antigos, em

condições de serem usadas em determinadas situações correntes bem definidas e de estabelecer critérios para a sua apreciação.

Os resultados foram divulgados através de comunicações em Congressos internacionais.

**COMPASS – *Compatibility of plasters and renders with salt loaded substrates in historic buildings (Compatibilidade de rebocos exteriores e interiores com suportes sujeitos à acção de sais solúveis, em edifícios históricos).***

O projecto Compass foi parcialmente financiado pela União Europeia (EC Contract EVK4-CT-2001-00047) e decorreu entre 2002 e 2005, com coordenação do TNO (Holanda) e participação do LNEC (Portugal), LRMH (França), IETcc (Espanha), TU Delft (Holanda) e TU Eindhoven (Holanda).

O principal objectivo deste Projecto foi disponibilizar aos técnicos responsáveis pela conservação de edifícios históricos directrizes para a escolha de rebocos compatíveis com suportes antigos contaminados com sais solúveis (Gonçalves et al, 2003).

Pretendeu-se, essencialmente: i) desenvolver um modelo de transporte da solução salina e de degradação que permita prever o modo de deterioração devida aos sais; ii) definir exigências para argamassas de reboco adequadas no que se refere ao comportamento aos sais; iii) desenvolver uma metodologia de ensaio para avaliação do comportamento aos sais de argamassas de reboco; iv) elaborar um Atlas de danos devidos a sais solúveis em rebocos.

**PRODOMEA – *PROject on high compatibility technologies and systems for conservation and DOcumentation of masonry works in archaeological sites in the MEditerranean Área*** (Projecto sobre altas tecnologias e sistemas de compatibilidade para a Conservação e Documentação de trabalhos em alvenarias em Sítios Arqueológicos da Área Mediterrânica).

O projecto Prodomea foi parcialmente financiado pela Comissão Europeia no âmbito do 5º Programa quadro, 5th FP - INCO (ICA 3 - CT - 2002 - 10021) e decorreu entre 2003 e 2006.



Foram englobados no Projecto os seguintes casos de estudo situados nos Países participantes, encontrando-se disponível informação sobre eles no sítio do Projecto [www.prodomea.com](http://www.prodomea.com):

- Restauro do Complexo arqueológico de Tróia (Portugal)
- Restauro de Villa Dolomita (Giannutri – Toscana, Itália)
- Restauro do templo de Júpiter (Damasco, Síria)
- Restauro da Fortaleza de Machaerous (Jordânia)

## **EU-ARTECH**

Rede de laboratórios europeus que estabelece a interoperacionalidade entre as 13 instituições europeias participantes (entre as quais o LNEC), todas elas actuando na área da conservação, arqueologia e história de arte e consideradas de referência nessas áreas nos respectivos Países. Esta rede permite, nomeadamente, o acesso de utilizadores europeus, sem custos, a equipamentos avançados e caros, como é o caso do equipamento AGLAE (acelerador de partículas) e do MOLAB (laboratório móvel que se desloca aos locais onde é necessário), para utilização específica em conservação de monumentos (Delgado Rodrigues, 2006).

## **Historical Mortars (Argamassas Históricas)**

Projectos bilaterais Portugal-Eslovénia e Portugal-República Checa, financiados por instituições dos Países participantes, em Portugal pelo GRICES (Gabinete de Relações Internacionais da Ciência e do Ensino Superior), que decorreram entre 2002 e 2005.

O objectivo destes dois projectos bilaterais, envolvendo o LNEC (através da autora deste trabalho, que coordenou a participação portuguesa, e de outros colegas), a Universidade de Ljubljana, da Eslovénia, e o Institute of Theoretical and Applied Mechanics (ITAM), da República Checa, foi reforçar a colaboração entre Instituições de Investigação na área da conservação de argamassas de edifícios antigos, através da realização de programas de ensaios conjuntos, troca de informações sobre resultados e sobre metodologias de ensaio, visitas mútuas aos laboratórios e aos casos de estudo das três Instituições e divulgação conjunta de resultados.

Outros Projectos como o **LAMA** (laser para limpeza de monumentos), o **ONSITE** (monitorização da colonização biológica em pedras e argamassas) e o **HARDROCK** (caracterização *in situ* da resistência mecânica de pedras e argamassas), também com a participação a nível nacional do Dr. Delgado Rodrigues, destinaram-se a desenvolver equipamentos e métodos específicos para diagnóstico ou tratamento de superfícies históricas (Delgado Rodrigues, 2006).

### **3.3 – Projectos de Investigação nacionais**

De entre os projectos nacionais, todos eles com participação da autora deste trabalho, destacam-se diversos projectos com financiamento FCT e um com financiamento da Agência de Inovação:

**Projecto OLDRENDERS - Metodologias para Caracterização e Conservação de Argamassas de Revestimento de Edifícios Antigos (2000-2001).** Este Projecto, em que o LNEC participou em consórcio com uma empresa, foi parcialmente financiado pela Agência de Inovação.

Destinou-se fundamentalmente a financiar o desenvolvimento de uma parte da contribuição portuguesa para o Projecto europeu *Ancient Renders*. No entanto, para além dos objectivos comuns a esse Projecto, propunha-se também estudar formulações base para produtos pré-doseados específicos para revestimento de edifícios antigos, verificando os requisitos definidos no próprio Projecto e procurando assim abrir um caminho que pudesse depois ser continuado pela indústria nacional, nomeadamente pela empresa participante.

Os objectivos do Projecto foram atingidos e os respectivos resultados foram compilados num Relatório final que foi entregue à Agência de Inovação e têm sido divulgados através de diversas comunicações em Encontros e Congressos nacionais e internacionais (Veiga et al., 2004b).

**Projecto para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) *Metodologias para a Mitigação do Risco Associado à Degradação das Construções – Edifícios (2000-2003)*.**

O projecto teve como objectivo principal o estabelecimento de metodologias para a conservação, manutenção e reparação de paredes de edifícios antigos. A contribuição na área dos revestimentos de paredes antigas envolveu a caracterização de soluções construtivas de revestimentos antigos; a tipificação das anomalias desses revestimentos e das causas correspondentes; a recolha de metodologias de diagnóstico e a análise da respectiva eficácia; o levantamento e avaliação das técnicas de conservação e de reabilitação; a preparação de recomendações para a conservação, manutenção e reparação de revestimentos de paredes antigas.

Os resultados do Projecto têm sido divulgados através de diversas comunicações em Encontros e Congressos nacionais e internacionais.

**Projecto para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) *Desenvolvimento de metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas - POCTI/ECM/46323/2002 (2004-2007)***

Este projecto, que se encontra em curso, visa o estabelecimento de metodologias adequadas para a avaliação da degradação de paredes antigas, em particular da degradação directamente associada à presença da humidade. Nesse sentido têm sido desenvolvidos estudos orientados para a detecção e a identificação das anomalias devidas à humidade e das respectivas causas, incluindo programas de ensaios laboratoriais e "in situ". O projecto de investigação envolve as seguintes fases: i) levantamento e descrição dos principais tipos de paredes antigas e das manifestações patológicas associadas à presença de humidade; ii) determinação laboratorial das características relevantes dos materiais utilizados na construção de paredes antigas; iii) estudo de métodos e de técnicas laboratoriais e "in situ" orientados para a detecção, a identificação e a análise de diversas anomalias relacionadas com a presença da humidade; iv) definição de um conjunto de metodologias adequadas ao diagnóstico de tais anomalias.

Este projecto de investigação deverá contribuir significativamente para a aquisição, o aprofundamento e a sistematização do conhecimento no domínio da conservação e da reabilitação do património histórico (Santos et al., 2004).

Os resultados têm sido divulgados através de vários relatórios, comunicações e artigos.

**Projecto para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) CATHEDRAL - *Caracterização e Conservação de Argamassas Tradicionais Históricas de Edifícios Religiosos do Alentejo* - POCI/HEC/57915/2004 (2005-2008)**

Este projecto, que se encontra em curso, visa desenvolver uma metodologia integrada de conservação para a preservação de edifícios religiosos do Alentejo, envolvendo as seguintes vertentes: i) investigação histórica e técnica sobre os materiais e tecnologias de construção e sobre as intervenções anteriores; ii) informação sobre a proveniência dos materiais; iii) caracterização física, química e mineralógica dos materiais; iv) levantamento das anomalias e correlação com a composição das argamassas usadas e com o ambiente físico-químico; v) preparação de composições de argamassas melhoradas para conservação desses edifícios.

Os resultados do projecto têm sido divulgados através de diversos relatórios, comunicações e artigos.

**Projecto para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) *Conservação de rebocos de cal: Melhoria das técnicas e materiais de restauro arquitectónico* - POCI/HEC/57723/2004 (2005-2008)**

O projecto, que se encontra em curso, visa i) aprofundar o conhecimento sobre tecnologias e materiais tradicionais e experimentar a sua viabilidade de utilização actual; ii) adaptar essas metodologias de forma a facilitar a sua aplicação mantendo a compatibilidade com as pré-existências; iii) melhorar o comportamento e a durabilidade de argamassas de reparação com base em cal recorrendo ao estudo dos ligantes (cais e pozolanas); iv) desenvolver uma metodologia geral de conservação e reparação de superfícies arquitectónicas; v) difundir os conhecimentos adquiridos pelo meio técnico nacional, de forma a contribuir para uma melhoria das intervenções de conservação em revestimentos de paredes antigas, evitando a trágica destruição de que actualmente são alvo.

Os resultados do projecto têm sido divulgados através de comunicações em congressos nacionais e internacionais.

**Projecto para a Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) *Estudo de argamassas compatíveis para a preservação do património edificado* - POCI/HEC/57890/2004 (2005-2008)**

Este Projecto, que se encontra em curso, visa estabelecer uma matriz orientadora do desenvolvimento de argamassas compatíveis para uma adequada preservação do Património. Esta matriz será constituída, por um lado, por informação sobre as características das argamassas antigas e das alvenarias de suporte e por outro pelos requisitos a preencher pelas argamassas a formular. Para atingir este objectivo em tempo útil, o estudo está focalizado intencionalmente na região de Aveiro como uma base para estabelecer a metodologia e desenvolver a investigação associada. Posteriormente, espera-se que ambas possam ser extrapoladas para outras regiões do País com edifícios de características semelhantes (alvenarias de adobe e pedra).

Os resultados do projecto têm sido divulgados através de comunicações e artigos.

### **3.4 – Dissertações**

No âmbito destes projectos e dos projectos que decorreram nesta área inseridos nos Planos de Investigação programada (PIP) do LNEC, há ainda que destacar as diversas Dissertações de Doutoramento e de Mestrado recentemente terminadas ou em curso neste domínio com o LNEC como Instituição de acolhimento e orientação ou co-orientação LNEC:

**Dissertações de Doutoramento:**

- Eng.<sup>a</sup> Ana Velosa - Doutoramento em Engenharia Civil na Universidade de Aveiro com a Dissertação *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de edifícios antigos*. 2006.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Paulo Vila Real (UA)

- Eng.<sup>a</sup> Teresa Gonçalves – Doutoramento pelo IST com a Dissertação *Salt crystallization in plastered or rendered walls*. 2007.

Orientação: Doutor Delgado Rodrigues e Prof. Fernando Branco (IST)

- Eng.<sup>a</sup> Maria Goreti Margalha - Doutoramento em Engenharia Civil no Instituto Superior Técnico com a Dissertação *Ligantes aéreos minerais. Processos de extinção e influência do factor tempo na sua qualidade*. Em curso.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Jorge de Brito (IST)

- Eng.<sup>a</sup> Ana Cristian Magalhães – Doutoramento pela Universidade Politécnica de Madrid com a Dissertação *Patologia e Critérios de Actuação em Revestimentos de Edifícios Antigos*. Em curso.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof.<sup>a</sup> Amparo Moragues (UPM)

- Dr.<sup>a</sup> Martha Tavares – Doutoramento pela Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa com a Dissertação *A conservação e o restauro de revestimentos por pinturas exteriores de edifícios antigos - uma metodologia de estudo e reparação*. Em curso.

Orientação: Prof. Arq.to José Aguiar (FAUTL), Prof. Arq. Margarida Moreira e Maria do Rosário Veiga

### **Dissertações de Mestrado**

- Eng.<sup>o</sup> Paulo Malta da Silveira – Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico com a Dissertação *Estuques antigos: caracterização construtiva e análise patológica*. 2000.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Jorge de Brito (IST)

- Arq. Hélder Cotrim – Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico com a Dissertação *Patologias e Reabilitação de Estuques Antigos - Critérios e Soluções para Reabilitação de Estuques Antigos em Portugal*. 2004.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Jorge de Brito (IST)

- Arq. Luís Cavaco – Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico com a Dissertação subordinada ao tema *Técnicas de Aplicação de Argamassas de Revestimento em Edifícios Antigos – Influência no Desempenho*. 2005.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Augusto Gomes (IST)

- Eng. Abel Soeiro (Licenciado em Engenharia Civil) - Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico com a Dissertação subordinada ao tema *Rebocos em paredes de pedra e cal*. 2005.

Orientação: Prof. Fernando Branco (IST) e Maria do Rosário Veiga.

- Eng. Luís Mateus (Licenciado em Engenharia Civil) – Mestrado em Construção no Instituto Superior Técnico com a Dissertação *Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio*. 2006.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. Jorge de Brito (IST)

- Dr<sup>a</sup>. Isabel Ferreira – Mestrado em Recuperação do Património Arquitectónico e Paisagístico da Universidade de Évora com a Dissertação *Revestimentos azulejares de fachadas oitocentistas em Ovar. Contributos para uma metodologia de conservação e restauro*. Em curso.

Orientação: Maria do Rosário Veiga e Prof. João Coroado (IPT)





## **4. SÍNTESE CRÍTICA DA MATÉRIA TRATADA E DOS PROBLEMAS EM ABERTO NESTA ÁREA**

Voltando aos vários aspectos determinantes para o planeamento correcto de uma intervenção sobre os revestimentos de edifícios antigos, identificados em 2.1, analisam-se brevemente para cada um as matérias consideradas em aberto.

### **a) Conhecimento aprofundado dos revestimentos existentes e do seu estado de conservação**

Apesar do muito trabalho que tem sido desenvolvido nesta área e do constante aperfeiçoamento das técnicas disponíveis, o estudo da composição de uma argamassa é ainda moroso, obrigando ao cruzamento de várias técnicas, e permite um conhecimento incompleto e não totalmente quantificado. A melhoria da quantificação dos constituintes – onde as técnicas ópticas poderão ter um papel cada vez maior a desempenhar – e a detecção de constituintes orgânicos são aspectos a melhorar.

É também necessário desenvolver mais estudos parciais sobre a composição de argamassas de determinados grupos de edifícios antigos, através, nomeadamente, de Dissertações de Mestrado, destacando-se, por exemplo, estudos sobre as argamassas de edifícios em cantaria de granito, frequentes no Norte do País; sobre as argamassas de edifícios de adobe, existentes no Centro e no Sul; sobre as argamassas medievais existentes em Portugal, procurando verificar se existem distinções entre as diferentes épocas, na mesma região.

Contudo, talvez o mais importante trabalho por realizar nesta área seja uma sistematização do conhecimento existente sobre argamassas antigas, agrupadas por época, localização, tipo de construção, etc., de forma a apoiar os estudos seguintes e a permitir extrapolar para os casos em que não é viável um estudo individual aprofundado.

Em Portugal, é necessário sistematizar todo o trabalho já realizado e dar andamento ao projecto já delineado de estabelecer um “catálogo” dos revestimentos antigos em

Portugal que permita ter uma ideia das composições existentes e da sua variação com a idade (o século), a região e o tipo de construção (urbana, rural, rica e elaborada ou mais pobre e simplificada)<sup>7</sup>.

A estrutura porosa é considerada determinante no comportamento das argamassas; não sendo totalmente previsível a partir da composição, pelo menos enquanto não existem dados suficientes para estabelecer uma correlação, tem que ser determinada por outros métodos. Este estudo é ainda difícil e imperfeito, devido às limitações das técnicas existentes. Com efeito, embora a sua importância seja muito referida em bibliografia, são poucos os resultados concretos publicados. A aplicação de outras técnicas, incluindo técnicas indirectas que usem características mais fáceis de determinar – como a variação da absorção de água no tempo – e a sua correlação com a estrutura porosa, parece, assim, ser uma tarefa a prosseguir.

As características físicas e mecânicas de rebocos antigos, por possibilitarem uma apreciação directa do seu comportamento em obra, são da maior importância. O seu conhecimento é essencial para avaliar o grau de conservação do reboco e fundamentar o planeamento da intervenção, além de permitir aferir as argamassas de substituição a utilizar. Não é fácil determinar estas características, mas têm vindo a ser definidos e validados métodos de ensaio em laboratório e a ser exploradas as potencialidades de ensaios *in situ* já usados para outros materiais.

Muito trabalho há ainda a fazer nesta área para a selecção e aperfeiçoamento dos métodos a usar em cada caso e para introduzir algum rigor na interpretação dos resultados. Por exemplo as medições por ultra-sons, muito usadas no estudo de outros materiais, como o betão, mostram grandes problemas em argamassas antigas de revestimento, nomeadamente variações que conduzem a dificuldades de interpretação ainda não ultrapassadas. O mesmo se passa com a termografia, cuja utilização na avaliação de propriedades e de variação de materiais em revestimentos antigos exige ainda muito trabalho prévio de suporte à interpretação de resultados. Outros métodos, cujo interesse potencial tem sido apontado com base em estudos preliminares, precisam de ser desenvolvidos, aperfeiçoados e calibrados para este tipo de aplicação.

---

<sup>7</sup> Este projecto, cuja paternidade inicial se crê ser de António Santos Silva, Investigador do Departamento de Materiais do LNEC, tem vindo a ser amadurecido em trocas de impressões da autora com ele e com outros colegas, no âmbito de trabalhos de investigação conjuntos.

No que se refere à avaliação do estado de conservação, as mesmas técnicas de caracterização química, mineralógica, física e mecânica fornecem indicações sobre eventuais produtos de degradação e sobre a coesão, aderência, resistência mecânica e porosidade das argamassas.

A definição clara e fundamentada de metodologias de diagnóstico, usando as várias técnicas de ensaio disponíveis, exige ainda muito estudo e necessitará de recorrer a um conhecimento aprofundado dos vários mecanismos de degradação, em alguns casos só ao alcance de especialistas em áreas científicas específicas. Com efeito a biodeterioração, a degradação devida à poluição, os problemas mais complexos de degradação por efeito da dissolução e recristalização de sais, os efeitos das alterações climáticas na evolução da degradação, precisam de uma colaboração especializada significativa de Biólogos, Ambientalistas e Meteorologistas, com os investigadores que estudam numa primeira análise os problemas da degradação de materiais: Engenheiros, Químicos e Geólogos.

O problema da degradação deve ter como corolário a previsão do tempo de vida útil dos vários elementos, que, no caso dos monumentos e dos edifícios com valor histórico, tem uma definição elástica e se pretende tão longa quanto possível. A quantificação aproximada do período de vida útil, ou da durabilidade das argamassas, face aos mecanismos de degradação existentes ou previsíveis num determinado contexto, é um outro campo de estudo, recorrendo à adaptação e desenvolvimento de modelos existentes, físicos ou matemáticos.

**b) Conhecimento das estratégias de intervenção possíveis, domínio das técnicas existentes para implementar essas estratégias e apreensão de critérios científicos para fundamentar as opções a tomar**

A decisão quanto ao tipo de estratégia a adoptar numa intervenção é da maior importância e deve portanto ser bem fundamentada.

Embora existam dados sobre os vários factores a considerar, não estão sistematizados critérios bem definidos para as opções a tomar, nem mesmo para os monumentos. Em muitos casos, o projectista pode decidir quase tudo sem outra justificação que não seja a sua liberdade criativa. Os donos-de-obra ou as instituições que gerem o Património

Arquitectónico têm também um peso importante na decisão, mas muitas vezes baseiam-se na mão-de-obra existente, nos limites orçamentais e nas soluções já aplicadas em casos semelhantes e não em critérios científicos que não estão facilmente disponíveis.

Uma reflexão sobre os vários factores que devem condicionar os critérios de selecção das estratégias de intervenção permite concluir que há muitas áreas de investigação em aberto.

*i) Valor do edifício em geral e do revestimento em particular*

Este factor é do âmbito da arquitectura e da história da arte e a sua consideração implicaria um estudo de investigação que envolvesse a apreciação dos edifícios antigos, tendo em conta vários parâmetros – valor histórico, valor arquitectónico, valor artístico, valor de raridade, valor técnico-científico, e, até, valores funcional e económico – que são, em si, relativamente subjectivos e que ainda podem ser ponderados de diferentes formas, dando origem a uma grelha de classificação que faria todo o sentido preparar de forma séria e fundamentada.

Embora esta ideia não seja inédita, tanto quanto se sabe esse estudo ainda não foi realizado em Portugal, ou pelo menos não são conhecidos os seus resultados.

*ii) Estado de conservação do revestimento*

O estado de conservação do revestimento existente é um factor relevante e passível de ser avaliado e quantificado. Encontra-se em curso no LNEC uma Dissertação de Doutoramento especificamente sobre essa matéria<sup>8</sup>. Outros trabalhos de investigação decorrem, aprofundando a análise de determinados tipos de anomalias, como as Dissertações de Doutoramento de Teresa Gonçalves pelo LNEC e pelo IST e de Paulo Guterres pelo LNEC e pela UFRJ, sobre comportamento aos sais de revestimentos para edifícios antigos; contudo esta matéria é vasta e está longe de estar terminada. Muito trabalho pode ser feito, passando dos estudos mais gerais para domínios cada vez mais especializados, que envolvam a química, a biologia, a geologia, o ambiente e a meteorologia, como se referiu em a).

---

<sup>8</sup> Tese de Ana Cristian Magalhães “*Patologia e Critérios de Actuação em Revestimentos de Edifícios Antigos*”, iniciada em Abril de 2003 (ver 3.4)

A classificação desse estado de conservação, tendo em conta a evolução previsível dos mecanismos de degradação e a viabilidade de reparação das anomalias permitirá entrar em linha de conta com este factor, determinante na estratégia de conservação.

*iii) Disponibilidade de meios, em termos de tecnologia, mão-de-obra, tempo e verbas*

O terceiro factor é, em princípio, objectivo, mas é necessário um grande rigor para que não se torne um pretexto para legitimar as escolhas mais fáceis, pelo que se deve, de facto, evitar que se torne um factor demasiado decisivo. Para poder ser tomado em conta, seria necessário um estudo técnico-económico aprofundado e parametrizado das várias opções estratégicas, definindo as bases para avaliar os custos deste tipo de intervenções. Seria um estudo de investigação na área da Economia e Gestão da Construção e, embora haja estudos gerais nessa área, por exemplo no LNEC, crê-se que este caso é suficientemente específico para justificar uma Dissertação de Mestrado ou mesmo de Doutoramento. Recorde-se, por exemplo, que o tipo de mão-de-obra envolvida é muito diversificada e em alguns casos muito especializada e que existem diversos aspectos imprevisíveis à partida, nomeadamente relacionados com o estado de conservação de elementos “invisíveis” (ocultos pelos revestimentos cuja destruição se pretende evitar) e com a estrutura real existente, nem sempre coincidente com os elementos de projecto eventualmente conhecidos.

**c) Conhecimento de soluções de reparação eficazes, adequadas e duráveis e das regras para a sua aplicação**

A consolidação e reparação de revestimentos antigos é uma área ainda pouco explorada.

Está em curso no LNEC uma Dissertação de Doutoramento sobre metodologias de consolidação<sup>9</sup>, que aborda a metodologia a usar no restauro de revestimentos de fachada e as técnicas e produtos envolvidos.

A nível nacional e internacional, outros estudos estão a ser realizados nesta área, podendo-se referir a Dissertação de Doutoramento em curso da investigadora polaca

---

<sup>9</sup> Tese de Martha Tavares “*A conservação e o restauro de revestimentos por pinturas exteriores de edifícios antigos - uma metodologia de estudo e reparação*”, iniciada em Abril de 2003 (ver 3.4)

Karina Zajadacz (Zajadacz e Simon, 2006) e a da investigadora da Universidade Nova Ana Brás, ambas sobre *grouts*.

No entanto, sobre os materiais a usar na reparação de diferentes técnicas de acabamento, que resultem simultaneamente compatíveis, visualmente semelhantes aos antigos, duráveis e viáveis técnica e economicamente, muito há ainda a fazer. A consolidação dos revestimentos pouco coesos continua a ser muito difícil, exigindo aperfeiçoamento das soluções mais compatíveis, nomeadamente das que se baseiam em depósitos de carbonato de cálcio. A reintegração cromática em grandes superfícies apresenta dificuldades e imprevisibilidade grandes, como se verificou recentemente nos trabalhos de restuaro da fachada do LNEC (Veiga et al., 2006 e 2007b). As soluções de pintura compatíveis são ainda insuficientes, o leque de opções disponível, resumindo-se, praticamente, a tintas de cal e tintas de silicatos, é muito curto e tem dificuldades práticas significativas.

Finalmente, a avaliação da eficácia e da adequabilidade das soluções de consolidação e de reparação está ainda pouco desenvolvida e dependente de métodos de ensaio avulsos e variáveis de estudo para estudo, de instituição para instituição, não se aproximando ainda um consenso visível.

Sobre a constituição das argamassas de substituição a usar, apesar dos vários estudos feitos na última década, muito falta ainda saber. Destaca-se neste desconhecimento a selecção dos agregados (granulometria, natureza e geometria) e sua influência nas características da argamassa aplicada, a curto e a longo prazo, nomeadamente na estrutura porosa, que se sabe comandar aspectos particularmente importantes, como o comportamento à água e a resistência ao gelo e aos sais.

Os adjuvantes orgânicos capazes de simular os antigos adjuvantes usados são também um campo quase completamente inexplorado.

Mesmo no campo dos aditivos minerais, nomeadamente das pozolanas artificiais, há ainda uma vasta área a explorar, de que se pode destacar, pela sua importância para a sustentabilidade e para a economia, a verificação da possibilidade de reutilização de resíduos industriais (vidro, indústria cerâmica, lamas de corte de pedras, etc.). Por outro lado, os métodos de cura mais eficazes a utilizar em obra, em cada caso, são ainda mal

conhecidos e trabalhos recentes (Velosa e Veiga, 2002; Veiga et al., 2007c; Fragata et al, 2007) têm indiciado a sua variabilidade e a sua importância para o resultado final.

Os materiais de reparação e de substituição a usar podem alterar as características dos revestimentos e o seu comportamento. É essencial saber quais as características dos revestimentos que vão influenciar o comportamento físico das paredes e quais as variações admissíveis nesse comportamento, desenhar soluções tecnologicamente viáveis, que à partida possam satisfazer essas características e ter capacidade para verificar o comportamento adequado final. Este tipo de estudo tem uma componente de base e uma componente prática, de aplicabilidade, de visão do conjunto do edifício, com as suas utilizações específicas.

Sobre as técnicas de aplicação mais eficazes e viáveis actualmente algumas pistas foram lançadas através de certos estudos, como a Dissertação de Mestrado de Luís Cavaco (ver 3.4) (Cavaco, 2005) (fig. 44) e outros trabalhos internacionais (Balksten et al, 2005; Papayianni, 2005) mas há que desenvolver e quantificar esse trabalho ainda embrionário até chegar a recomendações bem fundamentadas para diversos casos-tipo.

Um conhecimento mais completo dos revestimentos antigos (ver *a*), deverá ir lançando mais luz sobre a composição desejável das novas argamassas e sobre as técnicas de aplicação adequadas.



Fig. 45 – Estudo sobre a influência dos métodos de preparação e de aplicação de argamassas de cal: painéis experimentais e avaliação da consistência adequada

#### **d) Critérios de avaliação da compatibilidade e adequabilidade de soluções de reparação**

As exigências já quantificadas em alguns trabalhos são ainda parciais, por vezes semi-empíricas, mal fundamentadas e contraditórias entre si. Os métodos para a determinação das características em relação às quais se definem essas exigências são muito variáveis ou não são definidos com rigor. É necessário mais trabalho, quer experimental quer de modelização teórica, para determinar os limites correctos de cada característica relevante, para cada caso, ou, preferencialmente, para um número adequado de casos-tipo.

Uma vez que a compatibilidade implica uma relação harmoniosa do revestimento com o suporte e das argamassas de reparação em geral com a alvenaria pré-existente, é importante um bom conhecimento do suporte, uma avaliação bastante completa das suas características, para a partir daí ser possível estabelecer exigências de compatibilidade para as argamassas, nomeadamente no que diz respeito a características mecânicas, comportamento à água, estrutura porosa, modificação volumétrica com as variações de temperatura e do teor de água, etc. Principalmente na reparação de monumentos e outros edifícios de especial importância histórica e arquitectónica, seria muito útil ter uma base de dados com estas características, determinadas de modo a serem comparáveis com as características das novas argamassas, que possibilitem um “trabalho de alfaiate”, um “fazer à medida” para estes casos e, posteriormente, permitam extrapolações para edifícios de menor importância mas de estrutura semelhante.

Assim, nesta área, encontra-se em aberto um adequado conhecimento do suporte – características a escolher, métodos de ensaio, estudo de casos-tipo – a partir daí um mais rigoroso estabelecimento de valores limite para as características das argamassas para esses edifícios e um quadro geral para outros edifícios cuja menor importância permita dispensar um estudo particular, mas que assim teriam riscos minimizados.

Após a execução do novo revestimento, ou, de um modo geral, da aplicação da nova argamassa, numa área experimental, deveria ser possível verificar que todos os requisitos foram cumpridos, através de ensaios *in-situ* preferencialmente não-destrutivos. Este conjunto de ensaios, métodos a usar e gamas de valores a aceitar



encontra-se totalmente por definir, não se conhecendo mesmo trabalhos de fundo sobre o assunto, com esta perspectiva.

O comportamento conjunto do revestimento com a alvenaria e das argamassas de alvenaria em geral com os elementos em que se inserem, muito difícil de estudar por envolver estruturas muito heterogéneas, complexas e em geral mal conhecidas, é um dos pólos que devem balizar a definição de compatibilidade. O outro pólo é a semelhança com as argamassas pré-existentes que, se ainda existem são, por definição, compatíveis. Mas a consideração destes dois pólos deve ser complementada com o contexto externo, em mutação ao longo do tempo: ambiente, clima, poluição, sais solúveis, humidade ascendente.

No que diz respeito aos acabamentos finais, através de pinturas, barramentos ou outros modos de proteger e decorar as paredes, as regras de compatibilidade e os processos de avaliação da adequabilidade a cada caso encontram-se ainda mais indefinidos, embora sejam igualmente necessários à conservação dos edifícios antigos. Ainda mais que no caso dos rebocos, os acabamentos exigem um trabalho conjunto entre Engenheiros civis (com uma compreensão global do funcionamento do edifício), Químicos (com um conhecimento específico dos materiais usados nesses acabamentos) e Historiadores de arte / Restauradores / Arquitectos (com a sensibilidade e o conhecimento dos valores estéticos e artísticos a preservar).

A avaliação da durabilidade dos revestimentos de substituição e dos tratamentos de consolidação de revestimentos antigos é um campo em que muito está por fazer. É necessário passar de vários ensaios avulso, simulando de forma parcial e pouco quantificada algumas acções que actuam sobre os revestimentos, para metodologias de ensaio consistentes, com resultados tanto quanto possível quantificados e correlacionáveis com as acções naturais ao longo do tempo.

#### **e) Planos de manutenção das soluções existentes**

A elaboração de Planos de manutenção passa pelo estabelecimento de um conjunto de ferramentas que deveriam ser sistematizadas e compatibilizadas para os diversos tipos de edifícios e de estados de conservação.

A construção de uma Ficha, o estabelecimento de regras de observação e de actuação e as técnicas de monitorização devem ser desenvolvidos e sistematizados e adaptados aos nossos edifícios históricos e aos seus problemas concretos. Finalmente, cada Plano deve conter um escalonamento da prioridade dos vários tipos de intervenção e uma definição dos graus de severidade e dos tipos de anomalias a partir dos quais há que intervir.

## **5. LINHAS DE INVESTIGAÇÃO PROPOSTAS**

### **5.1 – Introdução**

#### ***5.1.1 – Enquadramento e justificação***

No capítulo anterior procurou-se evidenciar o amplo volume de trabalho por realizar para aprofundar os estudos existentes na temática da conservação dos revestimentos de paredes antigas, à medida das necessidades actuais.

O LNEC tem condições ideais para ser pivô deste conjunto de estudos, em Portugal – e, de certo modo, tem vindo a assumir cada vez mais esse papel, como se pode ver pelas participações em Projectos Europeus e Nacionais, pelos Projectos de Investigação do PIP 2005-2008, pelas orientações de Dissertações de Doutoramento e de Mestrado referidos em 3.4 – devido à sua multidisciplinaridade única a nível nacional e rara em termos internacionais. Com efeito, a coexistência de Engenheiros civis especializados em construção, em materiais e em estruturas, com Arquitectos, Químicos, Geólogos, Biólogos, Físicos, especialistas da área das Ciências Humanas e do Restauro e ainda a existência de Engenheiros electrotécnicos e mecânicos, juntamente com a capacidade de criar redes com outras instituições nas valências em falta, deverá permitir tratar adequadamente matérias como o comportamento de revestimentos e a sua influência no desempenho geral do edifício, os mecanismos de degradação com causas diversificadas – acções mecânicas, água, poluição, biodegradação, etc. – o estudo dos materiais a usar e das técnicas a aplicar, a integração global das intervenções no aspecto do edifício e a leitura da imagem, os impactos a nível social das operações a realizar e dos novos usos culturais e turísticos a estabelecer, a preparação e adaptação dos equipamentos e metodologias necessários a alguns ensaios e às monitorizações e medições.

Ancoradas neste núcleo com forte potencial mas sempre lutando com falta de recursos humanos que há que superar, desenvolveram-se e firmaram-se nos últimos anos ligações com outras Instituições, quer de Investigação – Universidades, com destaque

para o Instituto Superior Técnico, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, a Universidade de Aveiro, a Universidade de Évora, a Universidade do Minho e o Instituto Politécnico de Tomar – quer ligadas à gestão do Património – como o IPPAR, a DGEMN e algumas autarquias – através de Projectos de Investigação conjuntos, de orientação conjunta de Dissertações, de acompanhamento de estágios de jovens licenciados e de estudos por contrato.

Inserido nesta rede o LNEC pode, neste momento, desenvolver Linhas de Investigação mais ambiciosas desde que se torne possível congregar alguns esforços nesse domínio.

### ***5.1.2 – Metodologia***

Tendo presente o trabalho já realizado ou em curso e de entre muitos outros estudos que é necessário fazer para avançar nesta área ainda com tantas lacunas, definem-se quatro Linhas de Investigação, a partir das quais é possível estabelecer estudos de investigação concretos, ao nível de Dissertações de Doutoramento e de Mestrado e de trabalhos de menor amplitude, que podem constituir trabalhos de estágio de jovens licenciados.

As linhas propostas envolvem projectos ligados às várias áreas do conhecimento que têm vindo a ser referidas e, embora este trabalho foque essencialmente as que poderão ter participação activa da autora, essa participação terá que assumir diferentes graus de envolvimento e nem sempre será de coordenação, quando as áreas-chave se afastam da sua formação de base de Engenharia Civil.

As linhas 3 e 4 que se considera deverem ser coordenadas por um Engenheiro Civil, serão, naturalmente, as mais desenvolvidas aqui.

Apesar dos riscos destas diferenças de desenvolvimento das várias linhas, optou-se por expor um Programa de espectro mais largo, por se considerar que constitui um todo coerente, com valências que se completam, em detrimento de um Programa mais homogéneo mas também mais reduzido, focado apenas nas áreas mais susceptíveis de serem directamente orientadas pela autora ou por outros Engenheiros civis.

Incluíram-se em algumas linhas, também por uma questão de coerência do Programa, alguns trabalhos que já estão em curso, assinalando-os devidamente. Esses trabalhos,

que constituem Dissertações de Mestrado ou de Doutoramento orientadas pela autora, surgiram a partir da reflexão da autora sobre estas temáticas, mas também do interesse e da iniciativa das pessoas que os desenvolvem, já que esta é uma área que suscita grande entusiasmo e mesmo paixão dos jovens e menos jovens investigadores que a ela se dedicam. As actividades por iniciar são, crê-se, suficientes para garantir o carácter inovador do Programa de Investigação apresentado.

É ainda justo referir que este Programa, embora sendo da autoria da signatária, beneficiou de uma reflexão conjunta com investigadores de outras áreas – de onde se salientam a Arquitectura, o Restauro, a Química e os Materiais, quer no interior do LNEC quer com Universidades – feita ao longo dos últimos anos, sem a qual o Programa proposto seria certamente mais restrito.

### ***5.1.3 – Apresentação***

Apresentam-se a seguir as quatro linhas de investigação propostas referindo-se os objectivos gerais, a justificação da sua oportunidade e premência, a metodologia geral empregue, os meios necessários ao seu desenvolvimento e as acções a desenvolver, que são organizadas em Projectos.

As actividades incluídas nas Linhas descritas podem ser realizadas no âmbito de Programas de Pós-graduação de que se apresenta um na segunda parte deste trabalho, englobando as Linhas de Investigação 3 e 4.

A estimativa de custos apresentada baseia-se nos seguintes dados:

- Os custos inerentes à actividade de pessoal do LNEC são definidos com base nas tabelas de imputação de mão-de-obra para as diferentes categorias profissionais actualmente em vigor neste Laboratório Nacional, descritas nas Instruções nº 947, de Abril de 2003. Nestas Instruções os custos de pessoal são afectados por um factor multiplicativo de dois, que se destina a ter em conta os encargos associados não contabilizados directamente, como os custos administrativos.
- Os custos correspondentes a aquisições de serviços e a equipamentos são estimados com base em custos calculados recentemente para itens semelhantes em Projectos de

Investigação a que se concorreu. São afectados por um coeficiente multiplicativo de 1,2, de acordo com as Instruções já referidas, para incluírem os restantes encargos associados, nomeadamente relacionados com as tarefas administrativas necessárias a essas aquisições.

- Os custos relativos à actividade de bolseiros – jovens estudantes de Mestrado ou Doutoramento e ainda jovens licenciados em estágio – foram calculados com base nas bolsas LNEC atribuídas às correspondentes categorias de bolseiros. Estas bolsas têm valor superior às bolsas FCT correspondentes e admite-se que parte das actividades será realizada, através de Projectos financiados, por bolseiros FCT; no entanto optou-se por considerar a situação mais desfavorável.

## **5.2 – Linha 1 - Caracterização de revestimentos antigos**

### **5.2.1 – Objectivos gerais**

- Melhorar e sistematizar o conhecimento sobre as argamassas antigas nacionais, relativamente à sua composição e ao seu estado de conservação e produtos de degradação.
- Organizar este conhecimento, não só numa perspectiva histórica – ligada à história da arte e à história das tecnologias – mas também de forma a poder ser utilizado no planeamento das intervenções, na formulação de argamassas de reparação e na programação de acções preventivas de conservação e de manutenção.

### **5.2.2 - Justificação**

Tal conhecimento tem interesse de três pontos de vista fundamentais: o ponto de vista cultural, da história da tecnologia e, de certo modo, também da história da arte e da ciência; o ponto de vista tecnológico, prático, da sua utilização para informar a formulação de argamassas mais compatíveis e mais duráveis; finalmente, ainda, a

contribuição para a previsão da vida útil das construções estudadas e bem assim das acções preventivas e curativas a implementar. Esta linha de investigação pode ser subdividida em dois conjuntos de estudos: o Projecto 1A, relacionado com a composição e as características químicas e físicas; e o Projecto 1B, relacionado com os produtos de degradação presentes e com os mecanismos de degradação desenvolvidos.

### **5.2.3 – Metodologia geral**

A metodologia a utilizar nestes estudos é essencialmente experimental, implicando, em geral, os seguintes passos: i) selecção de alguns casos de estudo representativos e pesquisa da história dos edifícios seleccionados e das intervenções sofridas; ii) selecção das amostras de argamassa mais representativas para o fim vista; iii) análise experimental com componentes química, física e mecânica; iv) análise dos resultados dos ensaios; v) apreciação global dos resultados dos ensaios, tendo em conta a história do edifício e os dados da arqueologia vertical; vi) sistematização dos resultados obtidos por tipo de edifício, tipo de suporte, época, localização, etc.

Muito deste trabalho já está realizado ou em curso de realização, mas a sua sistematização e estudo global, através das tarefas v) e vi), continuam a ser pertinentes, com a criação de uma base de dados que possa ser consultada e ampliada por outras Instituições de Investigação do País.

### **5.2.4 – Planeamento dos meios necessários**

Basicamente, o equipamento e a base de conhecimentos (*know-how*) necessários existem no LNEC, principalmente nos Departamentos de Materiais – NMM (Núcleo de Materiais Metálicos) e NCMC (Núcleo de Cimentos e Materiais Cerâmicos) de Edifícios – NRI (Núcleo de Revestimentos e Isolamentos), NAU (Núcleo de Arquitectura e Urbanismo) e NTC – Núcleo de Tecnologias da Construção – embora se verifiquem lacunas ao nível da história da arte e da arqueologia. É, fundamentalmente, uma linha para ser conduzida por Químicos, com contribuições de Engenheiros civis, Arquitectos e também de Historiadores ou Arqueólogos e Geólogos.

A realização dos estudos em parceria com outras instituições, através de projectos financiados ou apenas de trabalhos de Doutoramento e de Mestrado, permitirão suprir as áreas em que o LNEC é menos forte.

Embora o LNEC esteja muito bem equipado na área dos materiais e se preveja também recorrer a equipamento complementar das Instituições com quem se estabelecerem parcerias, possivelmente haverá que completar ou actualizar algum equipamento menor.

Os consumíveis necessários são pouco significativos, sendo apenas os reagentes e outros produtos exigidos pela execução dos ensaios.

Os ensaios a realizar no âmbito do Projecto 1B, demorados e em grande número, exigem a dedicação de alunos de Mestrado e de Doutoramento, orientados por investigadores do LNEC e de uma Universidade com experiência nos ensaios e no tipo de estudos propostos. Os experimentadores dos Núcleos envolvidos darão ajuda na preparação dos provetes e na execução de certos ensaios.

Apresenta-se no Quadro 9 uma estimativa dos custos do desenvolvimento das actividades previstas nesta Linha de Investigação.

**Quadro 9 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da  
Linha 1**

| <b>Descrição</b>  | <b>Unidade</b> | <b>Custo unitário (€)</b> | <b>Custo unitário corrigido (€)</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Custo total (€)</b> |
|---|----------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Bolseiro de iniciação à Investigação Científica             | Mês            | 1220                      | 1220                                | 42                | <b>51240</b>           |
| Bolseiro de Doutoramento                                    | Mês            | 1610                      | 1610                                | 72                | <b>115920</b>          |
| Investigador  | Mês            | 5600                      | 11200                               | 12                | <b>134400</b>          |
| Técnico de experimentação                                   | Mês            | 2200                      | 4400                                | 36                | <b>158400</b>          |
| Deslocações em Portugal                                     | V. global      | 1500                      | 1800                                | -                 | <b>1800</b>            |
| Missões no estrangeiro                                      | V. global      | 6000                      | 7200                                | -                 | <b>7200</b>            |
| Aquisição de equipamento e manutenção                       | V. global      | 6000                      | 7200                                | -                 | <b>7200</b>            |
| Aquisição de serviços e outras despesas (consumíveis, etc.) | V. global      | 3000                      | 3600                                | -                 | <b>3600</b>            |
| <b>TOTAL</b>  | -              | -                         | -                                   | -                 | <b>479 760</b>         |



### **5.2.5 – Acções a desenvolver**

As acções a desenvolver são descritas para cada um dos Projectos considerados.

#### **5.2.5.1 – Projecto 1A – Caracterização química e física de argamassas antigas de revestimento**

O estudo da composição das argamassas antigas tem sido usado para prever ou explicar comportamentos em paralelo, mas não em conjunto, com o estudo das características físicas e mecânicas, principalmente por serem tratados por grupos de investigadores diferentes, que nem sempre conseguem interagir facilmente.

Afigura-se da maior importância relacionar os vários tipos de características de forma a obter-se uma compreensão global da argamassa, ou mesmo do revestimento e tirar desta compreensão conclusões de ordem prática, úteis à conservação do edifício.

Estes estudos permitirão organizar uma espécie de “catálogo” de argamassas antigas e, de forma mais elaborada, de revestimentos antigos.

No que se refere às argamassas, os estudos basear-se-ão nas análises químicas e mineralógicas, análises térmicas, observações com MEV e outras técnicas referidas em 2.2.5 e também nas análises da estrutura porosa, e nos ensaios de capilaridade e secagem, compressão e flexão segundo métodos já preparados e calibrados para amostras irregulares. Neste Projecto prevê-se a sistematização da informação existente e em preparação na sequência dos estudos em curso e a elaboração de uma base de dados preparada para ser ampliada continuamente.

Para caracterizar os próprios revestimentos é necessário completar estes estudos com análises estratigráficas, para conhecer o número e as características das várias camadas, e ainda com determinações de cor. O conhecimento da história do edifício e das intervenções sofridas contribuirá para a análise global do revestimento existente. Este trabalho, que completará o anterior, poderá ser feito em relação aos casos de estudo em curso, que permitem ainda a extracção de amostras completas do revestimento.

Alguns destes estudos parciais foram realizados ou encontram-se em curso no LNEC, como trabalhos de estágio e Dissertações de Mestrado ou integrados em Dissertações de Doutoramento: argamassas de rebocos e juntas de edifícios de taipa (Mateus, 2005), argamassas de edifícios religiosos do Alentejo (projecto Cathedral), argamassas de sítios romanos (projecto PRODOMEA), argamassas de colagem de azulejos da região de Ovar (Isabel Ferreira), etc. Outros têm sido realizados noutras Instituições nacionais e será possível aceder a esses dados e integrá-los na base de dados a elaborar.

As principais actividades a desenvolver são:

- Compilação dos dados já existentes, organizando-os por tipo de construção, localização e época; construção da base de dados correspondente, que terá que ser sempre “viva” e em constante actualização: trabalho de estágio de um licenciado em engenharia civil, ou em química, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Químico.
- Relacionamento dos resultados da composição química com a caracterização física e extracção de conclusões sobre a influência dos vários parâmetros de composição nas características físicas e mecânicas: trabalho de estágio de um licenciado em engenharia civil com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Químico.
- Estudo das várias camadas do revestimento e análise do número de intervenções a que correspondem, nos casos em que tal ainda seja possível, por se conhecer exactamente de onde foram retiradas as amostras e por existirem amostras recolhidas: trabalho de estágio de um licenciado em arquitectura, em conservação e restauro ou em arqueologia, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Arquitecto.

### **5.2.5.2 – Projecto 1 B – Mecanismos de degradação e caracterização do estado de conservação de argamassas antigas**

Com base nos estudos anteriores e perante uma visão já mais global dos tipos de argamassas antigas presentes no nosso património arquitectónico, devem ser estudados de forma mais organizada os seus mecanismos de degradação.

Esse estudo pode ser realizado através de uma Dissertação de Doutoramento que implicará o desenvolvimento das seguintes acções:

- Selecção de quatro ou cinco tipos de argamassas diferentes, com idades e localizações conhecidas.
- Análise da sua composição e dos respectivos produtos de degradação e dos eventuais efeitos físicos da deterioração.
- Identificação do contexto externo que pode influenciar os mecanismos de degradação: condições ambientais, estruturais e de localização do edifício.
- Preparação de argamassas novas de composição básica semelhante e submissão a envelhecimento natural em condições idênticas às argamassas antigas e a ensaios específicos de envelhecimento artificial simulando os mecanismos de degradação mais prováveis de acordo com os produtos de degradação detectados e com o contexto externo: efeitos do clima; poluição; sais; biodeterioração.
- Monitorização da evolução destas argamassas durante os ensaios em laboratório e a exposição *in situ*, de modo a estabelecer comparações de índole química e física entre as argamassas antigas e as novas envelhecidas; com base nesta análise da evolução de diferentes tipos de argamassas, serão averiguadas as razões da sua maior ou menor durabilidade.

Esta Dissertação de Doutoramento deve ser realizada por um Engenheiro Civil, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Químico.

Duas Dissertações de Mestrado podem contribuir para este estudo de maior fôlego:

- Uma relativa a mecanismos biológicos de deterioração, englobando o estudo dos principais tipos de colonização biológica em argamassas antigas, das condições em que se desenvolvem e dos respectivos efeitos em argamassas novas semelhantes: Dissertação de Mestrado de um Biólogo, com orientação conjunta de um Biólogo e de um Engenheiro Civil.
- Uma outra sobre mecanismos relacionados com o ambiente, nomeadamente com a poluição e com o ambiente marítimo, incluindo a simulação de várias condições que envolvam os mecanismos referidos sobre argamassas novas e o estudo dos seus efeitos: Dissertação de Mestrado de um Engenheiro do Ambiente, orientado por um Engenheiro do Ambiente e por um Engenheiro Civil.

Em paralelo com o estudo dos mecanismos de degradação prevê-se o estabelecimento de metodologias quantificadas para avaliação do estado de conservação das argamassas antigas. Esse estudo implica o desenvolvimento das seguintes actividades:

- Selecção de casos de estudo com anomalias de tipos e graus diversificados.
- Identificação das anomalias das argamassas e das suas causas, através de inspecção.
- Estudo das características das argamassas, através de ensaios físicos e mecânicos, em laboratório e, principalmente, *in situ*.
- Comparação dos resultados obtidos sobre a mesma argamassa em zonas bem e mal conservadas.
- Estabelecimento de uma classificação para o estado de conservação das argamassas, tendo em conta: os produtos de degradação e características como a permeabilidade à água, a resistência mecânica e a estrutura porosa, avaliadas quer em ensaios laboratoriais quer *in situ*; um outro aspecto a considerar será a *reparabilidade* das anomalias, que determina a metodologia de intervenção a escolher.
- Relação dessa classificação com os resultados obtidos nos ensaios em laboratório e *in situ*.

- Selecção de estratégias de intervenção apropriadas para o estado de conservação estabelecido.
- Cruzamento da informação obtida com as condições climáticas e ambientais locais e utilização destes elementos para estabelecer uma metodologia de previsão da vida útil das argamassas.
- Elaboração de planos de manutenção, a implementar após a intervenção.

Este estudo é objecto de uma Dissertação de Doutoramento de um Engenheiro Civil, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Químico (trabalho em curso – Dissertação da Ana Cristian Magalhães).

### **5.3 – Linha 2 – Metodologias de conservação, reparação e restauro**

#### **5.3.1 – Objectivos gerais**

- Estabelecer critérios para a definição de estratégias de intervenção em revestimentos antigos.
- Estabelecer metodologias de reparação.
- Definir técnicas e materiais a usar, explicitando as suas vantagens e riscos.
- Contribuir para maximizar a vida útil dos edifícios antigos.

#### **5.3.2 - Justificação**

A conservação do património arquitectónico e histórico exige a criação de fundamentos científicos para a selecção e prossecução de estratégias de intervenção adequadas. Esta linha de investigação pode ser subdividida em três conjuntos de estudos: o Projecto 2A, vocacionado para o estabelecimento de critérios condutores das opções de intervenção a tomar no que se refere a argamassas antigas; o Projecto 2B, visando a definição de

Planos de Manutenção para revestimentos antigos; e o Projecto 2C, destinado a estabelecer metodologias de reparação adequadas para cada caso e a fundamentar a escolha de técnicas e materiais.

### ***5.3.3 – Metodologia geral***

A metodologia a adoptar nos dois primeiros Projectos é teórica, bibliográfica e baseada em casos de estudo, embora sempre com uma componente experimental, enquanto a proposta para o Projecto 2C é fundamentalmente experimental. Deve envolver os seguintes passos: i) selecção de casos de estudo representativos de várias tecnologias e de diversos tipos e graus de patologia; ii) estudo e classificação de cada um desses casos; iii) simulação da aplicação de várias opções possíveis de intervenção e análise das suas vantagens e desvantagens éticas, técnicas e económicas; iv) selecção da opção mais adequada para cada caso com base nos resultados da análise realizada; v) definição das técnicas e dos materiais a usar; vi) verificação experimental da eficácia e da adequabilidade dos métodos de reparação; vii) estabelecimento de regras condutoras.

### ***5.3.4 – Planeamento dos meios necessários***

O equipamento e a base de conhecimentos necessários à prossecução desta linha de investigação existem no LNEC, nos Departamentos de Edifícios – NRI (Núcleo de Revestimentos e Isolamentos) e NAU (Núcleo de Arquitectura e Urbanismo) – e de Materiais – NMM (Núcleo de Materiais Metálicos) e NCMC (Núcleo de Cimentos e Materiais Cerâmicos) – embora se sinta a falta de um Conservador-restaurador e mesmo, actualmente, de um Arquitecto mais dedicado a esta área<sup>10</sup>. É uma linha para ser conduzida por Arquitectos ou Conservadores-restauradores com a contribuição de Engenheiros civis e Químicos.

O reforço na valência da conservação e restauro pode ser obtida através de parcerias com outras instituições, já que os estudos devem ser integrados em projectos de

---

<sup>10</sup> Estas lacunas não existiam num passado recente, em que o LNEC tinha colaboradores nesta área, nomeadamente um Arquitecto (José Aguiar) e uma Restauradora (Martha Tavares).

investigação financiados e realizados no âmbito de Dissertações de Mestrado e de Doutoramento.

Poderá ser necessário completar ou actualizar algum equipamento.

Os consumíveis necessários são essencialmente os materiais para as argamassas novas e os produtos de reparação, para além dos produtos necessários à realização dos ensaios, nomeadamente para os de envelhecimento artificial acelerado.

Os ensaios serão planeados e em grande parte realizados por um estagiário e pelos alunos de Mestrado e de Doutoramento que desenvolverem as Dissertações, orientados por investigadores do LNEC e de uma Universidade com experiência nos ensaios e no tipo de estudos propostos. Os experimentadores dos Núcleos envolvidos, principalmente do NRI, contribuirão para a preparação dos provetes e para a execução de alguns ensaios.

Apresenta-se no Quadro 10 uma estimativa dos custos do desenvolvimento das actividades previstas nesta Lina de Investigação.

**Quadro 10 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 2**

| <b>Descrição</b>  | <b>Unidad</b> | <b>Custo unitário (€)</b> | <b>Custo unitário corrigido (€)</b> | <b>Quantidade</b> | <b>Custo total</b> |
|---|---------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Bolseiro de iniciação à Investigação Científica             | Mês           | 1220                      | 1220                                | 42                | <b>51240</b>       |
| Bolseiro de Doutoramento                                    | Mês           | 1610                      | 1610                                | 36                | <b>57960</b>       |
| Investigador  | Mês           | 5600                      | 11200                               | 9                 | <b>100800</b>      |
| Técnico de experimentação                                   | Mês           | 2200                      | 4400                                | 18                | <b>79200</b>       |
| Deslocações em Portugal                                     | V. global     | 1200                      | 1440                                | -                 | <b>1440</b>        |
| Missões no estrangeiro                                      | V. global     | 5000                      | 6000                                | -                 | <b>6000</b>        |
| Aquisição de equipamento e manutenção                       | V. global     | 5000                      | 6000                                | -                 | <b>6000</b>        |
| Aquisição de serviços e outras despesas (consumíveis, etc.) | V. global     | 5000                      | 6000                                | -                 | <b>6000</b>        |
| <b>TOTAL</b>  | -             | -                         | -                                   | -                 | <b>308 640</b>     |

### **5.3.5 – Acções a desenvolver**

As acções a desenvolver são descritas para cada um dos Projectos considerados.

#### **5.3.5.1 – Projecto 2 A – Opções de reparação e critérios de selecção**

A definição das opções possíveis para intervir em cada caso implica o conhecimento aprofundado da história do edifício, dos valores artísticos e simbólicos a ele associados e do seu estado de conservação. Por outro lado, exige um domínio da teoria do restauro que permita com segurança estabelecer as balizas éticas aplicáveis.

Os vários parâmetros envolvidos – valor histórico e artístico do edifício; estado de conservação; meios económicos e humanos disponíveis – têm por sua vez vários componentes com pesos diferenciados a partir dos quais é possível estabelecer uma grelha capaz de guiar as opções a tomar de uma forma tão objectiva quanto possível.

Este Projecto pode ser o tema de uma Dissertação de Mestrado, a realizar através do desenvolvimento das seguintes acções:

- Definição das opções possíveis e dos respectivos campos de aplicação.
- Definição dos parâmetros que influenciam a decisão e dos respectivos pesos, com base em bibliografia e inquéritos a várias entidades.
- Selecção de quatro ou cinco casos de estudo com diferentes valores históricos e estados de conservação.
- Aplicação da grelha de parâmetros definida, para validação.
- Simulação das opções possíveis em cada um dos casos de estudo e avaliação dos resultados.
- Definição de regras gerais para as opções a tomar.

Esta Dissertação de Mestrado deve ser realizada por um Arquitecto ou por um Conservador-restaurador, com orientação conjunta de um Arquitecto e de um Engenheiro Civil.



### **5.3.5.2 – Projecto 2 B – Planos de Manutenção**

Este estudo, que poderá tomar a forma de uma Dissertação de Mestrado, visa a organização de um sistema de Planos de Manutenção adequados aos edifícios históricos nacionais. Incluirá a elaboração de uma Ficha de registo das observações a realizar, dos resultados da monitorização da evolução das anomalias mais relevantes e das reparações efectuadas. A Ficha deverá ser adaptada aos vários tipos de edifícios e zonas do País. Por exemplo a existência de uma estrutura de madeira oculta pelos revestimentos implica métodos de monitorização capazes de detectar eventual ataque biológico ou apodrecimento do material não visível. A localização numa zona sísmica ou num local poluído determina também aspectos específicos a manter sob observação. As acções periódicas de manutenção – como as limpezas, os tratamentos de descontaminação e as reparações dos acabamentos – devem ser definidos em periodicidade e em técnicas. Os recursos humanos e técnicos necessários e os custos associados às operações regulares de manutenção devem ser estimados.

As principais actividades a desenvolver nesta Dissertação de Mestrado são:

- Selecção de alguns casos de estudo representativos de tipos e localizações de edifícios do Património histórico que exijam Planos de Manutenção específicos.
- Elaboração das Fichas de registo das observações, monitorização e acções de reparação para cada um desses casos de estudo.
- Preenchimento dessas Fichas para cada um dos casos de estudo e, caso se verifique necessário, realização de correcções nas Fichas.
- Análise dos recursos humanos – em quantidade, formação e grau de especialização – e dos custos inerentes a cada conjunto de acções de manutenção para cada caso de estudo.
- Extrapolação de regras gerais para os tipos de casos estudados, embora adaptáveis a cada caso específico.
- Elaboração dos Planos de Manutenção tipo para as situações estudadas.

Esta Dissertação de Mestrado deve ser realizada por um Engenheiro Civil ou um Arquitecto, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Arquitecto.

### **5.3.5.3 – Projecto 2 C – Técnicas de reparação e restauro**

Este estudo vem, de certo modo, na sequência do estudo sobre o estado de conservação mas deve ser mais abrangente, envolvendo considerações sobre o tipo de edifício, as técnicas e materiais usados nos revestimentos antigos e o valor global do revestimento, quer técnico quer simbólico.

Devem ser definidas metodologias de conservação adequadas aos vários estados de conservação, tendo em conta, nomeadamente, a severidade das anomalias e o tipo de edifício em causa.

As técnicas de conservação e reparação a usar podem ser:

- Técnicas de limpeza (da sujidade, biológica ou química).
- Técnicas de consolidação: restituição da coesão; restituição da aderência, colmatação de fissuras e lacunas; reintegração cromática.
- Técnicas de reparação de fendas (com uma componente de restituição da resistência e da capacidade de protecção contra a água).
- Técnicas de pintura.

Estas técnicas devem ser desenvolvidas e testadas, verificando-se a adequabilidade do aspecto final e a eficácia da reparação no que se refere à reposição da funcionalidade – comportamento à água e às acções mecânicas e químicas – e à durabilidade do revestimento reparado, prevendo-se a monitorização da sua evolução no tempo.

Estas verificações devem ser realizadas com recurso a ensaios predominantemente físicos e mecânicos e, se necessário, também químicos. Medições de cor devem também ser utilizadas.

A parte central deste trabalho constituirá o tema de uma Dissertação de Doutoramento, a realizar por um conservador-restaurador, com orientação conjunta de um Arquitecto e de um Engenheiro Civil (trabalho em curso: Dissertação de Martha Tavares), que será

continuada através de trabalhos de estágio, cada um dos quais centrado na monitorização da evolução das superfícies tratadas com uma das várias técnicas enunciadas.

Os revestimentos exteriores de azulejos antigos, e, em particular, as suas argamassas de assentamento, constituem um tipo de revestimento antigo com recurso a argamassas, que apresenta problemas específicos e cuja conservação implica técnicas e materiais especialmente adaptados. Trata-se de um revestimento muito tradicional em Portugal (fig. 45), onde existem exemplares valiosos também pela sua raridade e carga simbólica e, tendo atingido grande expressão no século XIX, com as fábricas surgidas nessa época, encontra-se actualmente, em muitos casos, a atingir estados de degradação elevados, pelo que é urgente definir as metodologias mais adequadas para o seu restauro.



Fig. 46 – Revestimentos antigos de azulejos assentes com argamassas de cal  
a) séc. XVII, em Elvas e b) séc. XIX, em Ovar

Esta temática deve ser objecto de estudo através de uma Dissertação de Mestrado a realizar por um Conservador-restaurador, com orientação conjunta de um Engenheiro Civil e de um Conservador-restaurador ou Historiador (trabalho em curso: Dissertação de Isabel Ferreira) – Técnicas de Reparação e restauro de revestimentos azulejares.

## **5.4 – Linha 3 – Compatibilidade e durabilidade de revestimentos para edifícios antigos**

### **5.4.1 – Objectivos gerais**

- Estabelecer critérios de compatibilidade bem fundamentados para argamassas a aplicar em edifícios antigos, tendo em conta o suporte, as funções a desempenhar, assim como o contexto externo.
- Estabelecer metodologias seguras para avaliar a durabilidade das argamassas de substituição.

### **5.4.2 - Justificação**

Uma avaliação correcta e segura da compatibilidade é um aspecto fundamental para a selecção de argamassas de substituição a aplicar no Património histórico sem correr o risco de degradar ainda mais o edifício que se pretende conservar ou de o descaracterizar, como continua a acontecer em Portugal na maioria das intervenções realizadas e como é também a regra noutros Países da Europa.

A durabilidade das próprias argamassas, embora menos importante que a durabilidade dos elementos antigos (alvenarias ou outras argamassas), é ainda assim um factor a considerar para garantir a sustentabilidade das acções de conservação, que, se tiverem que ser repetidas com muita frequência se tornam economicamente inviáveis.

Esta linha de investigação, que se considera central no programa pelo seu impacte em todo o planeamento das acções de conservação, pode ser subdividida em quatro conjuntos de estudos, sendo um – o Projecto 3A – destinado ao estudo das características dos suportes mais comuns em Portugal, o segundo – 3B – dirigido ao estudo e redefinição das exigências de compatibilidade para rebocos de substituição, o terceiro – 3C – direccionado para a definição de exigências de compatibilidade para argamassas de colagem de azulejos antigos – e finalmente o quarto – 3D – vocacionado para o estudo da durabilidade de argamassas, através da definição de ensaios de envelhecimento artificial acelerado adequados e da sua validação e calibração.

### ***5.4.3 – Metodologia geral***

A metodologia a usar será fundamentalmente experimental, envolvendo os seguintes aspectos: i) caracterização dos suportes e materiais pré-existentes em contacto mais representativos (alvenarias de pedra e tijolo, taipa, etc.); ii) definição de limites aceitáveis das correspondentes características das argamassas a utilizar; iii) verificação experimental da adequabilidade destes limites; iv) definição e simulação através de ensaios de envelhecimento artificial acelerado das principais acções deteriorantes incidindo sobre os revestimentos e avaliação do seu efeito nas argamassas, através de ensaios antes e depois (articulando com os resultados do projecto 1 B); v) validação e calibração destes ensaios por comparação com argamassas sujeitas a envelhecimento natural.

### ***5.4.4 – Planeamento dos meios necessários***

O equipamento e a base de conhecimentos necessária à prossecução desta linha de investigação existem no LNEC, nos Departamentos de Edifícios – NRI e NTC (Núcleo de Tecnologias da Construção) – de Estruturas – NCE (Núcleo de Comportamento de Estruturas) – e de Materiais – NMM e NCMC. É uma linha para ser conduzida principalmente por Engenheiros Civis, com contribuições de Arquitectos e Químicos.

Poderá ser necessário completar ou actualizar algum equipamento relativamente pesado, principalmente no que se refere ao ensaio das alvenarias.

A construção de modelos de parede experimentais pode ter custos relativamente elevados, quer em materiais, quer, principalmente, em mão-de-obra a contratar, que terá que ser especializada.

Os consumíveis necessários são os materiais para as paredes e para as argamassas novas além dos produtos necessários à realização dos ensaios, nomeadamente para os de envelhecimento artificial acelerado.

Estes estudos devem ser realizados no âmbito de projectos de investigação que assegurem uma contribuição significativa para o seu financiamento e constituir temas de Dissertações de Mestrado e de Doutoramento que garantam os meios humanos necessários à prossecução dos trabalhos de longo fôlego exigidos.

Os ensaios serão planeados e realizados pelos alunos de Mestrado e de Doutoramento que desenvolverem as Dissertações, orientados por investigadores do LNEC e de uma Universidade com experiência nos ensaios e no tipo de estudos propostos. Os experimentadores dos Núcleos envolvidos, principalmente do NRI, do NTC e do NCE contribuirão para a preparação dos provetes e para a execução dos ensaios.

Apresenta-se no Quadro 11 uma estimativa dos custos do desenvolvimento das actividades previstas nesta Linha de Investigação.

**Quadro 11 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 3**

| Descrição   | Unidade   | Custo unitário (€) | Custo unitário corrigido (€) | Quantidade | Custo total    |
|---|-----------|--------------------|------------------------------|------------|----------------|
| Bolseiro de iniciação à Investigação Científica             | Mês       | 1220               | 1220                         | 24         | <b>29280</b>   |
| Bolseiro de Doutoramento                                    | Mês       | 1610               | 1610                         | 108        | <b>173880</b>  |
| Investigador  | Mês       | 5600               | 11200                        | 12         | <b>134400</b>  |
| Técnico de experimentação                                   | Mês       | 2200               | 4400                         | 48         | <b>211200</b>  |
| Deslocações em Portugal                                     | V. global | 5000               | 6000                         | -          | <b>1800</b>    |
| Missões no estrangeiro                                      | V. global | 8750               | 10500                        | -          | <b>9000</b>    |
| Aquisição de equipamento e manutenção                       | V. global | 11000              | 13200                        | -          | <b>12300</b>   |
| Aquisição de serviços e outras despesas (consumíveis, etc.) | V. global | 10000              | 12000                        | -          | <b>12000</b>   |
| <b>TOTAL</b>  | -         | -                  | -                            | -          | <b>590 460</b> |

#### **5.4.5 – Acções a desenvolver**

As acções a desenvolver são descritas para cada um dos Projectos.

#### 5.4.5.1 – Projecto 3 A – Caracterização de paredes antigas

Dado que a compatibilidade se define em relação ao suporte e a outros elementos que ficarão em contacto com as novas argamassas e tendo em conta que existem já definições gerais de compatibilidade de argamassas para suportes antigos, de forma genérica (ver 2.5), a primeira prioridade neste momento é a caracterização dos principais tipos de alvenarias antigas que constituem os suportes de revestimentos antigos: vários tipos de alvenarias de pedra, de tijolo maciço, de adobe, taipa, etc. (fig. 46) É verdade que parte desse trabalho está feito: alguns autores caracterizaram suportes de taipa (Rodrigues, 2006; Mateus, 2005), de pedra (Hendry, 1994; Hayen et al., 2001; Binda et al., 2005), mas sempre de forma pouco quantificada e incompleta e com um pequeno número de casos, não permitindo fazer extrapolações para os edifícios a intervir.

A caracterização deve ser feita relativamente às características mais relevantes para a compatibilidade: resistência à compressão, módulo de elasticidade, coeficiente de dilatação térmica e higrométrica, estrutura porosa, absorção de água, sucção, secagem, e, em cada caso, teor de água e teor de sais.

As técnicas a usar para elementos de parede ou, no caso dos ensaios *in situ*, para as próprias paredes, deverão ser comuns aos vários tipos de paredes. Para algumas das características – resistência à compressão e ao corte e módulo de elasticidade – podem ser usadas as mesmas técnicas que têm sido adoptadas para paredes novas (Carvalho, 1990; Pires, 1990) e as que têm sido usadas em estudos recentes sobre paredes antigas (Soeiro, 2005). Nestes casos foram usadas prensas de grande capacidade e adaptações no modo de transmissão das cargas, ou macacos hidráulicos e medições de deformação com alongâmetro ou com deflectómetros. No que se refere a ensaios relacionados com o transporte de água será possível partir dos métodos de ensaio definidos no âmbito do Projecto *Desenvolvimento de Metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas* (ver 3). Medições através de métodos não-destrutivos, geralmente indirectos, podem ser feitas recorrendo às técnicas testadas no âmbito do Projecto Europeu *ONSITEFORMASONRY* e de novo do Projecto nacional *Desenvolvimento de Metodologias para a avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*.

Todos estes métodos terão que ser avaliados, seleccionados e adaptados à utilização pretendida.

O estudo deve começar por um levantamento por amostragem dos tipos de alvenaria mais frequentes em Edifícios Históricos em Portugal e respectivas características gerais observáveis ou passíveis de obter por bibliografia credível. Um trabalho de estágio permitirá concretizar a realização destas acções.



Fig. 47 – Vários tipos de suportes: cantaria, alvenaria irregular de pedra e tijolo, alvenaria irregular de pedra com juntas de terra, adobe



Após o levantamento, a caracterização dos suportes tipificados deve constituir uma Dissertação de Doutoramento e ser realizado de uma forma global, já que exige uma definição de metodologias de ensaio e uma análise experimental complexa, pouco compatível com trabalhos de menor vulto. Essa Dissertação, que poderá considerar os resultados dos trabalhos já existentes, desde que as metodologias usadas ofereçam fiabilidade para o fim em vista e recorrer a Dissertações de Mestrado complementares que abranjam estudos de caso parciais, incluirá as seguintes acções:

- Selecção de seis tipos de suportes particularmente significativos – alvenaria regular de pedra (terá que ser seleccionada a natureza da pedra, admitindo-se que talvez o granito possa ser uma opção interessante); alvenaria de pedra irregular (de novo terá que ser escolhida a natureza da pedra ou optar-se por uma alvenaria mista); paredes pombalinas (com gaiola de madeira envolvida por alvenaria irregular); alvenaria de tijolo burro; adobe; taipa – e de quatro ou cinco casos de estudo representativos de cada um deles.
- Elaboração de um plano de ensaios que permita caracterizar os suportes dos vários casos de estudo, recorrendo a ensaios *in situ* e a ensaios laboratoriais. Para a elaboração do plano devem ser tidos em conta os últimos Projectos de Investigação, a nível europeu e nacional, em que têm sido estudados e adaptados métodos de ensaio para paredes antigas.
- Execução de modelos dos vários tipos de suporte para completar o conjunto dos ensaios de laboratório, admitindo que não será possível extrair provetes das paredes antigas com dimensões suficientes para alguns dos ensaios, nomeadamente resistência à compressão e ao corte e deformação sob cargas.
- Realização de ensaios *in situ* e de laboratório sobre materiais da parede (argamassa de juntas e pedras ou blocos) e de laboratório sobre modelos de parede.
- Determinação das principais características de cada um dos tipos de paredes relevantes para a avaliação da compatibilidade de revestimentos, nomeadamente: resistência à compressão, resistência ao corte, módulo de elasticidade (deformabilidade sob cargas), estrutura porosa, absorção de água

(coeficiente de capilaridade e absorção máxima), sucção, capacidade de secagem, coeficientes de dilatação térmica e hídrica.

Esta Dissertação deve ser realizada e orientada por Engenheiros Cívicos.

#### **5.4.5.2 – Projecto 3 B – Exigências de compatibilidade de rebocos de substituição**

Embora haja algum trabalho realizado no que se refere às características a impor a rebocos de substituição – mais do ponto de vista qualitativo e menos de um modo quantificado, devido às lacunas existentes a montante – será útil, à luz dos resultados do trabalho realizado sobre os suportes, redefinir e requantificar, de forma agora mais rigorosa e fundamentada, essas características para cada tipo de suporte e verificar o bom comportamento de argamassas com essas características sobre vários suportes-tipo estudados, através de aplicações experimentais monitorizadas.

Estas exigências também devem ser simplificadas. Com efeito, existe alguma sobreposição nos requisitos actualmente definidos e em alguns casos recorre-se a ensaios que exigem equipamento pouco acessível à maioria dos laboratórios. Algumas das características actualmente exigidas (ver 2.5, quadros 7 e 8) podem eventualmente ser substituídas por outras mais fáceis de determinar e em menor número, após verificar eventuais correlações de resultados.

Por outro lado, é necessário introduzir requisitos em relação a aspectos ainda não incluídos actualmente, tais como: i) o comportamento aos principais tipos de sais solúveis contaminantes das paredes antigas e dos solos de fundação; ii) o comportamento à poluição; iii) o comportamento em ambiente marítimo.

Não se menciona aqui o comportamento ao gelo-degelo, que se sabe ser um severo mecanismo de degradação das argamassas de cal, porque as alternâncias rápidas chuva-gelo não constituem um fenómeno significativo no nosso País, onde mesmo nas zonas mais frias (nomeadamente nas Serras mais altas) existe normalmente um desfasamento temporal entre uma chuvada e a queda de temperatura abaixo de zero graus centígrados.

É ainda importante considerar dois casos distintos, já que exigem características de comportamento à água bastante diferenciadas das argamassas a usar: possibilidade ou não de humidade ascensional.

Deve ser tido em conta o trabalho entretanto iniciado pela Comissão da RILEM no âmbito das argamassas históricas (TC RHM) sobre as características a considerar, os métodos de ensaio a adoptar e alguns limites propostos.

Para o trabalho global de redefinição e simplificação das exigências e respectivos métodos de ensaio propõe-se uma Dissertação de Mestrado, que deverá ter em conta os vários tipos de suporte caracterizados através do estudo de Doutoramento já referido – alvenaria de pedra regular, alvenaria de pedra irregular, paredes pombalinas, alvenaria de tijolo maciço, adobe, taipa – e as duas situações de possibilidade ou não de humidade ascensional.

Esta Dissertação deve incluir as seguintes actividades:

- Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos.
- Estabelecimento de relações entre as características dos revestimentos e dos suportes.
- Análise dos aspectos climáticos, ambientais e sociais potencialmente condicionantes.
- Cruzamento da informação obtida com as exigências anteriormente definidas, a nível nacional e internacional.
- Análise das propriedades de verificação experimental mais complexa e análise de possíveis correlações com características mais fáceis de determinar.
- Estabelecimento de uma grelha de exigências quantificadas, tão simples quanto possível, de revestimentos para cada tipo de suporte, para diferentes situações específicas.
- Verificação experimental da adequabilidade das soluções propostas sobre os suportes em causa, através da realização de ensaios de durabilidade definidos no Projecto 3D.

Este trabalho deve ser realizado e orientado por Engenheiros Civis.

### **5.4.5.3 – Projecto 3C – Exigências de compatibilidade para argamassas de colagem de azulejos**

A definição dos requisitos de compatibilidade de argamassas de colagem de azulejos exige a definição das características do suporte, abrangida pelos estudos do Projecto 3 A, mas também a caracterização dos azulejos antigos, principalmente ao nível do comportamento à água e das características mecânicas. Será também necessário (se tal não foi feito no Projecto 1 A), caracterizar as argamassas antigas de assentamento. A Dissertação de Mestrado de Isabel Ferreira, que se encontra em curso (ver 3.4) dá alguns passos neste sentido, mas, sendo o objectivo dessa Dissertação a definição de metodologias de reparação, não será possível avançar muito nessa direcção e a maior parte está ainda por fazer.

Estas argamassas devem verificar requisitos de aderência ao suporte superiores aos das argamassas de reboco e ter resistência mecânica suficiente para suportar o peso dos azulejos. Devem também permitir a evaporação da água do suporte e não devem transmitir tensões elevadas aos azulejos nem contaminá-los com sais.

Um estudo histórico das argamassas usadas para esse efeito nas zonas do País onde os azulejos foram mais empregues seria um bom ponto de partida.

Uma Dissertação de Doutoramento daria o enquadramento adequado para um estudo com este fôlego, englobando as seguintes actividades:

- Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos azulejares (com base nos resultados do Projecto 3A).
- Determinação das características dos principais tipos de azulejos antigos usados em revestimentos exteriores de paredes nos edifícios do Património Histórico nacional.
- Estudo de vários tipos de argamassas usadas no assentamento de azulejos antigos.
- Estabelecimento de relações entre as características das argamassas, dos suportes e dos azulejos tendo em conta as acções que incidem sobre este tipo de fachada.

- Análise dos aspectos ambientais e sociais potencialmente condicionantes.
- Cruzamento da informação obtida com as exigências definidas para as argamassas de revestimento em geral, a nível nacional e internacional.
- Estabelecimento de exigências quantificadas, tão simples quanto possível, de revestimentos para cada tipo de suporte, para diferentes situações específicas.
- Verificação experimental da adequabilidade das soluções propostas sobre os suportes em causa, através da realização de ensaios de durabilidade definidos no Projecto 3D.

Este trabalho deve ser realizado por um Engenheiro Civil e ter uma orientação conjunta de um Engenheiro Civil e um Químico ou Engenheiro Cerâmico.

#### **5.4.5.4 – Projecto 3 D – Durabilidade de revestimentos para paredes antigas**

A definição de um método de avaliação da durabilidade de argamassas para paredes antigas exige um estudo específico.

É necessário definir ensaios de envelhecimento artificial acelerado que abranjam os vários aspectos envolvidos: as acções climáticas; a poluição; os sais existentes nos materiais e nas fundações; o ambiente marítimo.

As acções a considerar e, principalmente, a sua intensidade, são variáveis com a zona do País, portanto devem ser calibrados, para zonas específicas, ensaios com severidades diferentes em relação a cada um dos factores a considerar.

Assim, um levantamento das condições climáticas em várias zonas do País, consideradas relevantes para a durabilidade dos edifícios, a executar através de um Trabalho de estágio é um primeiro passo para este estudo.

As alterações climáticas constituem um aspecto importante a ter em conta. Com efeito, variações climáticas aparentemente pouco significativas podem ter consequências muito ampliadas em determinadas acções, como a cristalização de sais, a colonização biológica e as condensações.

O estudo global da avaliação da durabilidade deve ser realizado no âmbito de uma Dissertação de Doutoramento, que incluirá os aspectos referidos a seguir:

- Monitorização da evolução da carbonatação e de eventuais reacções hidráulicas. Estudo da evolução da estrutura porosa, da resistência mecânica e da absorção e secagem da água com o envelhecimento artificial acelerado.
- Calibração destes ensaios através da comparação com argamassas idênticas sujeitas a envelhecimento natural, quer usando os estudos de argamassas antigas já realizados, e completando-os, se necessário, com os ensaios de porosimetria, absorção de água e resistência à compressão, quer expondo provetes de argamassas novas a ambientes naturais severos durante alguns anos.
- Sujeição de argamassas consideradas compatíveis a estes ensaios para avaliação da sua durabilidade potencial e também da sua compatibilidade após envelhecimento.
- Esta Dissertação de Doutoramento deve ser realizada e orientada por Engenheiros Civis.

## **5.5 – Linha 4 – Revestimentos de substituição**

### ***5.5.1 – Objectivos gerais***

- Definir e formular soluções de revestimentos de substituição compatíveis para vários tipos de edifícios e de situações, com durabilidade adequada e facilmente disponíveis no mercado.
- Disponibilizar ao meio técnico soluções de revestimento adequadas para diferentes casos e condições de aplicação, privilegiando a sustentabilidade e a preservação do ambiente.

### **5.5.2 - Justificação**

Apesar dos estudos já realizados é notória a falta de soluções reais para o problema dos rebocos e das pinturas de substituição, principalmente quando o orçamento disponível é reduzido e a mão-de-obra existente é pouco especializada. A definição de soluções adequadas e viáveis – com custos moderados e facilmente aplicáveis – é de extrema importância, já que sem elas de nada servem requisitos cientificamente estabelecidos nem o conhecimento alargado das soluções originais.

Esta linha de investigação, que, embora se insira num campo em que muito trabalho tem sido feito ultimamente, apresenta ainda um amplo campo para novos estudos, pode ser estruturada em quatro Projectos. O primeiro – Projecto 4 A – destina-se ao estudo da melhoria das soluções de reboco existentes com base em cal aérea; o segundo – Projecto 4 B – debruça-se sobre soluções de rebocos intermédias, ou seja, não totalmente compatíveis mas apropriadas para determinados casos se forem introduzidas algumas melhorias; o terceiro – 4 C – refere-se ao estudo de argamassas de cal incorporando resíduos industriais com propriedades pozolánicas; finalmente, o quarto – 4 D – direcciona-se para o estudo de soluções de pinturas de substituição compatíveis.

### **5.5.3 – Metodologia geral**

A metodologia a usar será essencialmente experimental, envolvendo as seguintes actividades: i) selecção de materiais e sua caracterização; ii) definição de formulações potencialmente adequadas; iii) caracterização e estudo do comportamento dessas soluções, para verificação da sua compatibilidade e durabilidade, aplicando os ensaios e exigências estabelecidos através dos estudos da Linha 3 (3B e 3D); iv) finalmente, quando necessário, ajustamento das soluções inicialmente propostas para melhorar o comportamento esperado.

### **5.5.4 – Planeamento dos meios necessários**

O equipamento e a base de conhecimentos necessários à prossecução desta linha de investigação existem no LNEC, principalmente no Departamento de Edifícios – NRI e NAU e no Departamento de Materiais – NMPC (Núcleo de Materiais Plásticos e Compósitos). É uma linha para ser conduzida por Engenheiros Cívicos, com a colaboração de Arquitectos e Químicos.

Embora o LNEC tenha um laboratório de revestimentos de paredes bem equipado, principalmente se complementado com o equipamento do Departamento de Materiais, poderá ser necessário completar ou actualizar algum equipamento.

Os consumíveis necessários são os materiais para as argamassas a formular e os produtos necessários à realização dos ensaios, nomeadamente para os de envelhecimento artificial acelerado.

Estes estudos devem ser realizados no âmbito de projectos de investigação que assegurem uma contribuição significativa para o seu financiamento e constituir Dissertações de Mestrado e de Doutoramento que garantam os meios humanos necessários à prossecução dos trabalhos de longo fôlego exigidos.

Os ensaios serão planeados e realizados pelos alunos de Mestrado e de Doutoramento que desenvolverem as Dissertações, orientados por investigadores do LNEC e de uma Universidade com experiência nos ensaios e no tipo de estudos propostos. Os experimentadores dos Núcleos envolvidos, principalmente do NRI, contribuirão para a preparação dos provetes e para a execução dos ensaios.

Apresenta-se no Quadro 12 uma estimativa dos custos do desenvolvimento das actividades previstas nesta Linha de Investigação.

**Quadro 12 – Estimativa de custo das actividades necessárias ao desenvolvimento da Linha 4**

| Descrição   | Unidade   | Custo unitário (€) | Custo unitário corrigido (€) | Quantidade | Custo total    |
|---|-----------|--------------------|------------------------------|------------|----------------|
| Bolseiro de iniciação à Investigação Científica             | Mês       | 1220               | 1220                         | 64         | <b>65880</b>   |
| Bolseiro de Doutoramento                                    | Mês       | 1610               | 1610                         | 108        | <b>173880</b>  |
| Investigador  | Mês       | 5600               | 11200                        | 12         | <b>134400</b>  |
| Técnico de experimentação                                   | Mês       | 2200               | 4400                         | 36         | <b>158400</b>  |
| Deslocações em Portugal                                     | V. global | 5000               | 6000                         | -          | <b>6000</b>    |
| Missões no estrangeiro                                      | V. global | 12500              | 15000                        | -          | <b>15000</b>   |
| Aquisição de equipamento e manutenção                       | V. global | 5000               | 6000                         | -          | <b>6000</b>    |
| Aquisição de serviços e outras despesas (consumíveis, etc.) | V. global | 5000               | 6000                         | -          | <b>6000</b>    |
| <b>TOTAL</b>  | -         | -                  | -                            | -          | <b>565 560</b> |



### **5.5.5 – Acções a desenvolver**

As acções a desenvolver são descritas para cada um dos Projectos.

#### **5.5.5.1 – Projecto 4 A – Argamassas de substituição – melhoria das soluções de cal aérea**

Apesar dos avanços sobre a compatibilidade de argamassas ainda não existe um leque de soluções compatíveis acessível ao mercado. Com efeito, a maioria das soluções que surgem ou têm deficiências de compatibilidade (soluções incorporando cimento, cal hidráulica ou resinas, por exemplo) ou são difíceis de aplicar, exigindo cuidados particulares (soluções só de cal aérea ou de cal aérea com metacaulino) ou são excessivamente caras para as obras comuns (argamassas patenteadas importadas, baseadas por exemplo em ligantes especiais, com baixos teores de álcalis).

O comportamento das argamassas de cal é muito sensível às condições de aplicação e de cura, cujo estudo é, portanto, de grande importância para a preparação de recomendações que conduzam a um melhor desempenho.

A melhoria dessas condições implica o estudo da influência das condições de cura e das técnicas de preparação e de aplicação das argamassas que deve dar origem a uma Dissertação de Doutoramento, incluindo as seguintes tarefas:

- Selecção de cinco condições de cura relevantes: i) condições da Norma Europeia EN 1015-11 (20°C / 98% HR seguido de 20°C / 65% HR); ii) condições próximas das definidas pelo CSTB (CSTB, 1993) (20°C / 50% HR) e usadas até ao presente no LNEC para argamassas de cal (Veiga et al., 2004b); iii) alternância húmido/seco (20°C / 98% HR alternando com 50% HR) iv) alternância húmido/seco (20°C / 98% HR alternando com 75% HR); v) ambiente médio constante (20°C / 75% HR.).
- Selecção de duas técnicas de preparação da argamassa: i) cal apagada em pó; ii) cal em pasta; e três técnicas de aplicação: i) uma única camada espessa; ii) duas camadas com um terço da espessura vada uma.

- Execução de argamassas de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1: 3.
- Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa com as várias condições de cura e uma preparação e aplicação normalizadas; monitorização da carbonatação; observações com MEV.
- Numa 2ª fase, selecção das duas melhores curas e realização dos ensaios de avaliação da compatibilidade e da durabilidade.
- Numa 3ª fase, repetição de todos os ensaios com as duas técnicas de preparação seleccionadas (mantendo a aplicação padrão) e repetição com a técnica de aplicação alternativa, de todos os ensaios para os quais estas técnicas forem relevantes (agora mantendo a preparação padrão).
- Finalmente, repetição de todos os ensaios escolhendo as melhores das condições testadas: melhor cura, melhor preparação e melhor aplicação.
- Avaliação da influência das várias condições, considerando os resultados obtidos nos ensaios.

Esta Dissertação deve ser realizada e orientada por Engenheiros Cívicos.

Paralelamente, é importante aumentar a gama de soluções de rebocos com base em cal aérea e melhorar a sua aplicabilidade, através de alterações na composição e de um melhor conhecimento do seu funcionamento e evolução.

Para isso, é fundamental introduzir melhorias nos materiais a utilizar, em termos de compatibilidade e de durabilidade. Admite-se que o estudo da influência dos ligantes ficará completo (na medida em que tal existe...) após os estudos de Paulina Faria e Ana Velosa (concluídos respectivamente em 2004 e 2006 – ver 3.4) além de outros trabalhos de nível internacional.

No entanto, é necessário estudar a optimização dos agregados, que influencia de modo determinante a estrutura porosa, o comportamento à água e o comportamento mecânico da argamassa de cal (Stefanidou e Papayianni, 2005; Von Konow, 1997a e 1997b) e não foi esgotada, nem perto disso, na Dissertação de Vasco Rato, que estudou apenas a

influência da granulometria de areias siliciosas com uma gama granulométrica ainda assim reduzida. Este estudo deixou espaço para pelo menos mais uma Dissertação de Doutoramento, explorando a influência da natureza dos agregados (nomeadamente areias calcárias, graníticas e basálticas), a importância da forma (agregados britados, mais ou menos angulares) e aprofundando as variações introduzidas pela curva granulométrica.

Esta Dissertação, que deve ser precedida de um levantamento, a realizar através de um Trabalho de estágio, de um conjunto de agregados usados nas várias zonas do País em argamassas e das respectivas características, incluirá as seguintes acções:

- Selecção de um conjunto de areias usadas no País com diferentes naturezas: siliciosa, basáltica, calcária e granítica.
- Estabelecimento de uma curva granulométrica padrão, correspondente a uma compacidade otimizada.
- Execução de argamassas de cal aérea com as várias areias seleccionadas, com a curva granulométrica padrão.
- Realização de ensaios físicos e mecânicos: estrutura porosa, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência ao suporte, avaliação da compatibilidade (ensaios definidos em 3 B) e da durabilidade (ensaios definidos em 3 D).
- Realização de ensaios químicos: estudo das alterações químicas produzidas por eventuais reacções dos agregados com a cal e pesquisa de eventuais compostos pozolânicos formados, em particular no caso do agregado basáltico.
- Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias agora com mais duas curvas granulométricas diferentes, conduzindo num caso a baixa compacidade (do tipo areia monogranular) e noutra a compacidade intermédia.
- Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias, usando as curvas granulométricas de compacidade intermédia e alterando a forma dos grãos.

- Avaliação da influência dos factores: natureza da areia, curva granulométrica e forma dos grãos.

Esta Dissertação deve ser realizada por um Engenheiro Civil e orientada por um Engenheiro Civil e um Químico.

A utilização de adjuvantes químicos, nomeadamente os introdutores de ar, os hidrófugos e os retentores de água, pode ser avaliada através de uma Dissertação de Mestrado, com os seguintes tarefas:

- Selecção de dois adjuvantes de cada um dos tipos referidos existentes no mercado e recomendados para argamassas.
- Execução de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada e os adjuvantes seleccionados e de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia mas sem adjuvantes, para termo de comparação.
- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas (os mesmos apontados para a Dissertação de Doutoramento referida atrás).
- Avaliação da influência dos vários adjuvantes, considerando os resultados obtidos nos ensaios.

Esta Dissertação deve ser realizada por um Engenheiro Civil e orientada por um Engenheiro Civil e um Químico.

A incorporação de terra e de vários tipos de fibras pode ser estudada através de uma Dissertação de Mestrado, abrangendo as seguintes tarefas:

- Selecção de dois tipos de terra usada em construções de terra e quatro tipos de fibras – entre fibras artificiais e fibras naturais – disponíveis em Portugal e compatíveis com argamassas de cal em termos químicos (não atacáveis pela cal) e físicos (com comprimento, diâmetro e textura passíveis de não dificultarem a amassadura da argamassa de cal).
- Execução de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada e os aditivos (terras e fibras) seleccionados e de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia mas sem aditivos, para termo de comparação.

- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas (os mesmos apontados para a Dissertação de Doutoramento referida atrás). No caso dos ensaios a realizar sobre argamassas aplicadas sobre um suporte (aderência e durabilidade, por ex.) deve ser usado o suporte adobe ou taipa.
- Avaliação da influência dos vários aditivos, considerando os resultados obtidos nos ensaios.

Esta Dissertação deve ser realizada e orientada por Engenheiros Cívicos.

#### **5.5.5.2 – Projecto 4 B – Argamassas de substituição – soluções intermédias**

As soluções intermédias, não totalmente compatíveis mas verificando a maioria das exigências, podem ter algum campo de aplicação, se forem acessíveis em termos de mercado, de preço e de facilidade de aplicação. Estas soluções, nomeadamente as que recorrem a cal hidráulicas nacionais, podem ser particularmente adequadas para edifícios sem um elevado valor histórico ou arquitectónico, cuja conservação tenha que ser garantida com meios limitados e mão-de-obra não-especializada.

Estes estudos devem ser conduzidos em ligação com as empresas nacionais ligadas à produção destes materiais, que poderão estar disponíveis para introduzir no processo de fabrico pequenas alterações recomendadas para melhorar a compatibilidade. As empresas nacionais produtoras de cal hidráulica – SECIL e CIMPOR – têm já, aliás, dado sinais de abertura nesse sentido.

Com efeito a cal hidráulica nacional pode ser melhorada como material para conservação com um fabrico mais cuidado, por ex. com temperaturas de cozedura controladas para impedir a formação de  $C_3S$ , evitando a adição de gesso e reduzindo o teor de álcalis (Hayen e Balen, 2005).

As argamassas pré-doseadas de origem nacional podem também ser incluídas neste grupo de argamassas intermédias e devem ser estudadas para verificação da sua maior ou menor compatibilidade e análise do seu eventual campo de aplicação.

A adequabilidade destas argamassas intermédias pode ser objecto de uma Dissertação de Mestrado, que incluirá as seguintes tarefas:

- Selecção dos produtos a estudar (duas cais hidráulicas eventualmente com algumas variantes de fabrico e quatro produtos pré-doseados fabricados em Portugal).
- Execução de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 (cal:areia) e de argamassas com o mesmo traço e a mesma areia com cada uma das cais hidráulicas seleccionadas.
- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas e sobre as argamassas pré-doseadas seleccionadas (os mesmos apontados para a Dissertação de Doutoramento referida atrás).
- No caso das argamassas de cal hidráulica se terem revelado demasiado resistentes e rígidas, repetição dos ensaios com um traço mais baixo, ou com mistura de cal aérea.
- Execução de painéis das argamassas estudadas com melhor desempenho para realização de ensaios *in situ*.
- Avaliação dos resultados e definição de campos de aplicação possíveis para as argamassas estudadas.

Esta Dissertação deve ser realizada e orientada por Engenheiros Civis.

#### **5.5.5.3 – Projecto 4 C – Argamassas de substituição – incorporação de resíduos industriais**

Alguns estudos realizados (Velosa e Veiga., 2007; Silva, 2007) mostraram a existência de propriedades pozolânicas em certos tipos de resíduos industriais. A sua incorporação em argamassas de cal teria, assim, o duplo efeito do aumento da reciclagem ou mesmo da reutilização, desses resíduos, com as vantagens ambientais que daí resultam, e da obtenção de novas soluções de argamassas de cal, potencialmente compatíveis.

Os resíduos de argila expandida e os resíduos de vidro são dois exemplos possíveis no mercado nacional, em relação aos quais as experiências preliminares realizadas (Velosa

e Veiga, 2007; Veiga et al., 2007c; Silva et al., 2007; Fragata et al., 2007) foram positivas.

Os estudos a realizar para avaliar a viabilidade da sua utilização como aditivos pozolânicos em argamassas de cal consistirão em analisar a sua composição para quantificar a proporção de sílica amorfa, verificar a sua reactividade pozolânica e, com esses dados, estabelecer algumas hipóteses em relação ao teor a incorporar na argamassa de cal. O traço volumétrico 1:1:4 (cal:resíduo:areia) é um ponto de partida possível, já que deu bons resultados com outras pozolanas já estudadas (pozolana de Cabo Verde, pozolana dos Açores, metacaulino) (Velosa, 2006; Veiga et al., 2007c), se os referidos ensaios de caracterização não apontarem em sentido diferente. O traço citado pressupõe, de forma simplificada, que a pozolana funciona a 50% como ligante e 50% como agregado. Se o resíduo a estudar contiver teores muito elevados de sílica amorfa será necessário reduzir a proporção, já que actuará quase totalmente como ligante, enquanto se for muito baixa poderá ser necessário introduzir uma quantidade superior.

Pode ser necessário testar argamassas com proporções diferentes de resíduo para seleccionar a mais adequada, mediante um conjunto reduzido de ensaios: resistências à flexão e à compressão, módulo de elasticidade e capilaridade aos 28 e aos 90 dias.

Em seguida, devem ser estudadas as restantes características e o comportamento da argamassa seleccionada com cada um dos resíduos e verificadas a sua compatibilidade e a sua durabilidade.

A viabilidade económica e o impacto em termos de reciclagem de resíduos, tendo em conta eventuais consumos energéticos, nomeadamente na moagem, devem também ser objecto de estudo.

Uma Dissertação de Doutoramento poderá ser o resultado desta pesquisa para um conjunto de resíduos a identificar (para além dos dois exemplos referidos), na indústria nacional. Prevê-se a realização das seguintes tarefas:

- Selecção de resíduos industriais com possível actividade pozolânica.

- Determinação do teor de sílica amorfa (para avaliar o grau de pozolanicidade provável) e da reactividade pozolânica; determinação do teor de sais (para despistar um importante factor de incompatibilidade).
- Execução de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 (cal:areia) e de argamassas com a mesma areia com cada um dos resíduos seleccionados, ao traço 1:1:4 (cal:resíduo:areia) ou outro que tenha surgido, para cada resíduo, como mais adequado após os ensaios preliminares de teor de sílica amorfa.
- Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa padrão e das argamassas com os vários resíduos, nos traços escolhidos; observações com MEV para identificação de possíveis compostos hidráulicos das reacções pozolânicas.
- Se necessário, correcção ou experiências adicionais com outras proporções dos vários resíduos.
- Numa 2ª fase, selecção das proporções de resíduos de melhor desempenho e realização dos restantes ensaios físicos e de determinação da compatibilidade e da durabilidade.
- Aplicação de painéis das argamassas estudadas para observação da evolução com o tempo e ensaios *in situ* com várias idades.
- Avaliação da eficácia dos vários resíduos testados e de eventuais efeitos negativos.
- Avaliação da viabilidade de utilização dos resíduos e dos impactes ambiental e económico.

Esta Dissertação deve ser realizada por um Engenheiro Civil e orientada em conjunto por um Engenheiro Civil e um Químico.



#### 5.5.5.4 – Projecto 4 D – Pinturas de substituição

As pinturas de substituição a usar em edifícios antigos constituem um problema ainda pouco estudado. Mesmo quando se mantêm os rebocos antigos de cal ou quando se aplicam rebocos de substituição de cal é frequente fazer-se o acabamento com pinturas acrílicas modernas, embora por vezes com o cuidado de escolher uma com brilho mate e com cor e textura próximas da cal. No entanto as tintas desse tipo são incompatíveis com os rebocos de cal e com as paredes antigas e, além de contribuírem para a degradação do reboco têm elas próprias, nessas condições, uma durabilidade reduzida (fig. 47). Com efeito, apenas tintas com uma permeabilidade ao vapor de água muito elevada e, também, com grande permeabilidade ao dióxido de carbono, podem ser compatíveis com paredes antigas (Veiga e Tavares, 2002). Essas características implicam, em princípio, tintas minerais com base em cal ou em silicatos, com ou sem adição de pequenas proporções de resina ou de outros aditivos, sempre de modo a não formarem película. No entanto, outras soluções têm vindo a ser propostas, como as tintas de siloxanos.

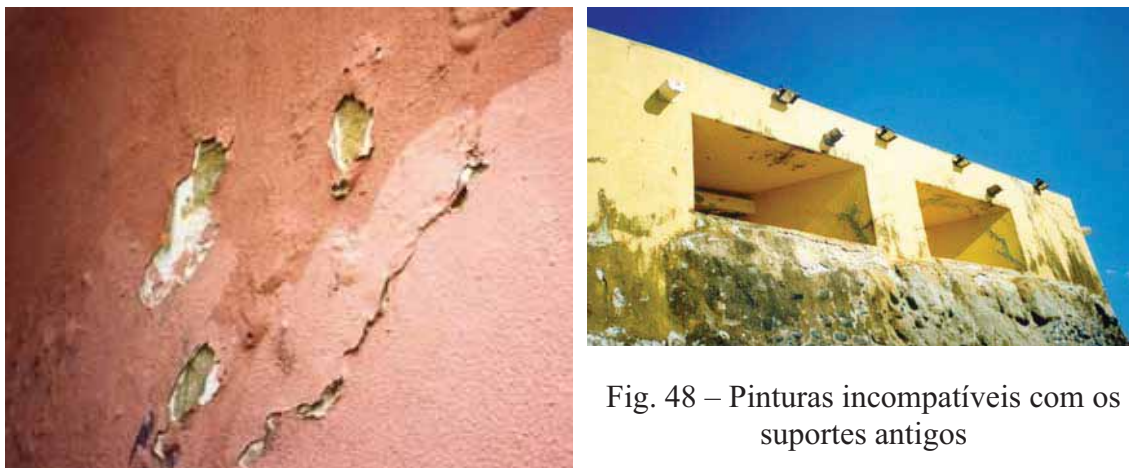


Fig. 48 – Pinturas incompatíveis com os suportes antigos

O estudo dessas várias soluções e da sua compatibilidade com as paredes antigas e com os rebocos de cal pode constituir uma Dissertação de Mestrado. Este estudo deve incluir a análise da durabilidade dessas pinturas em várias condições de aplicação, através de ensaios em laboratório e *in situ*. Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado

devem ser adaptados a partir dos definidos no Projecto 3 D mas devem incluir radiação ultra-violeta.

A Dissertação a realizar incluirá as seguintes tarefas:

- Selecção das soluções de pintura a ensaiar, entre as quais: uma tinta de cal sem aditivos (solução de comparação); uma ou mais tintas de cal com aditivos; duas ou mais tintas de silicatos; duas ou mais tintas de siloxanos.
- Caracterização das tintas através de ensaios químicos e físicos.
- Ensaio de comportamento das tintas em laboratório, sem suporte e aplicadas sobre um suporte de argamassa de cal aérea.
- Adaptação para aplicação a revestimentos por pintura dos ensaios definidos nos Projectos 3 C e 3 D para a avaliação da compatibilidade e da durabilidade.
- Aplicação das soluções de pintura em painéis no exterior e realização de ensaios *in situ*.
- Avaliação final da adequabilidade das soluções testadas, da sua compatibilidade e durabilidade.

Esta Dissertação deve ser realizada por um Conservador-restaurador ou por um Arquitecto e orientada em conjunto por um Conservador-restaurador ou por um Arquitecto e por um Engenheiro Civil e um Químico.

## **5.6 – Planeamento dos meios necessários**

### ***5.6.1 – Recursos Humanos***

Como se referiu para cada uma das linhas, os recursos humanos necessários para a execução do programa são:

- estagiários e alunos de Mestrado e de Doutoramento de Engenharia Civil, Química, Arquitectura, Conservação e Restauro e Biologia para a execução dos trabalhos de investigação.
- investigadores e professores universitários para a orientação das Dissertações e a coordenação dos projectos.
- experimentadores para apoio às actividades experimentais.
- técnicos de outras instituições para colaboração nas valências em que o LNEC tem lacunas, como a Biologia e a Conservação e Restauro.

Esta afectação de recursos humanos pressupõe a prossecução do programa em parceria com Universidades e, eventualmente, com outras Instituições, como o IPPAR.

### ***5.6.2 – Custos e Financiamento***

Os custos previstos para a prossecução de cada uma das linhas propostas são os calculados nos números anteriores, que perfazem os seguintes totais:

Linha 1 – 479 760 €

Linha 2 – 308 640 €

Linha 3 – 590 460 €

Linha 4 – 565 560 €

O financiamento será conseguido parcialmente através de candidaturas a projectos de investigação FCT, nomeadamente nas áreas da Herança Cultural, de Engenharia Civil e de Materiais e a outros tipos de projectos de investigação, nacionais ou europeus, com financiamentos.

Outra parcela poderá ser paga directamente pelas Instituições do Estado que tutelam o Património monumental e por algumas Câmaras Municipais com centros históricos, em troca dos estudos fornecidos a essas entidades relativos aos edifícios usados como casos de estudo.

Finalmente, a parcela restante será financiada pelas verbas disponíveis para investigação no LNEC e nas Universidades, nomeadamente no que se refere às horas dos seus investigadores e professores.

## **6 – CONCLUSÕES**

### **6.1 – Benefícios esperados do programa de investigação**

Os principais benefícios esperados deste programa de investigação relacionam-se com a criação de ferramentas para a implementação de estratégias de conservação e restauro do Património Histórico edificado mais adequadas e sustentáveis, no que se refere às argamassas.

Serão criadas bases de dados com a informação sobre a constituição e as intervenções nas argamassas dos edifícios históricos, que poderão ser actualizadas ao longo do tempo.

O melhor conhecimento das argamassas existentes e dos seus mecanismos de degradação permitirá estabelecer programas de manutenção e salvaguarda mais ajustados e fundamentar as intervenções a realizar.

O estabelecimento de critérios científicos que guiem com clareza as opções a tomar ao nível dos métodos e dos materiais permitirá aumentar os períodos de vida útil dos edifícios históricos e racionalizar as intervenções em termos económicos e técnicos. As metodologias e materiais preconizados terão custos globais inferiores aos actuais, mesmo sem contar com os custos da não-durabilidade das metodologias incompatíveis.

Em suma, o benefício mais significativo é certamente a preservação dos edifícios históricos durante mais tempo e em melhores condições, mantendo as suas características originais, com custos mais moderados.

O facto deste trabalho ser realizado com parcerias alargadas, envolvendo o LNEC, as Universidades, Institutos públicos e autarquias, permitirá incorporar e disseminar mais facilmente os conhecimentos daí resultantes.

## 6.2 – Viabilidade, tempo, aplicações

Garantidos os recursos humanos e os financiamentos conforme proposto em 5.6, considera-se que a viabilidade do Programa está assegurada, desde que a coordenação seja efectiva.

O tempo estimado total para o seu cumprimento é de 5 anos, como resulta do planeamento apresentado no quadro 13.

**Quadro 13 – Calendarização dos Projectos de investigação propostos**

| Projectos | Sem 1  | Sem 2            | Sem 3          | Sem 4          | Sem 5                   | Sem 6                   | Sem 7                   | Sem 8          | Sem 9          | Sem 10 |
|-----------|--------|------------------|----------------|----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|----------------|--------|
| 1A        | TE 1.1 | TE 1.2<br>TE 1.3 |                |                |                         |                         |                         |                |                |        |
| 1B        |        | M 1.1<br>M 1.2   | M 1.1<br>M 1.2 | D 1.1<br>D 1.2 | D 1.1<br>D 1.2          | D 1.1<br>D 1.2          | D 1.1<br>D 1.2          | D 1.1<br>D 1.2 | D 1.1<br>D 1.2 |        |
| 2A        |        | M 2.1            | M 2.1          |                |                         |                         |                         |                |                |        |
| 2B        |        | M 2.2            | M 2.2          |                |                         |                         |                         |                |                |        |
| 2C        |        | M 2.3<br>D 2.1   | M 2.3<br>D 2.1 | D 2.1          | D 2.1                   | D 2.1                   | D 2.1                   | TE 2.1         |                |        |
| 3A        | TE 3.1 | D 3.1            | D 3.1          | D 3.1          | D 3.1                   | D 3.1                   | D 3.1                   |                |                |        |
| 3B        |        |                  |                | M 3.1          | M 3.1                   |                         |                         |                |                |        |
| 3C        |        |                  |                | D 3.2          | D 3.2                   | D 3.2                   | D 3.2                   | D 3.2          | D 3.2          |        |
| 3D        | TE 3.2 | D 3.3            | D 3.3          | D 3.3          | D 3.3                   | D 3.3                   | D 3.3                   |                |                |        |
| 4A        |        | D 4.1<br>TE 4.1  | D 4.1<br>D 4.2 | D 4.1<br>D 4.2 | D 4.1<br>D 4.2<br>M 4.1 | D 4.1<br>D 4.2<br>M 4.1 | D 4.1<br>D 4.2<br>M 4.2 | D 4.2<br>M 4.2 |                |        |
| 4B        |        |                  |                |                | M 4.3                   | M 4.3                   |                         |                |                |        |
| 4C        |        |                  |                |                | D 4.3                   | D 4.3                   | D 4.3                   | D 4.3          | D 4.3          | D 4.3  |
| 4D        |        |                  |                |                |                         | M 4.4                   | M 4.4                   |                |                |        |

TE – Trabalho de estágio; M – Dissertação de Mestrado; D – Dissertação de Mestrado;  
Em TE  $i,j$ , M  $i,j$ , D  $i,j$  –  $i$  indica a Linha e  $j$  é sequencial

### **6.3 – Publicações previstas**

Considerando que é expectável, em média:

- Por cada trabalho de estágio: 1 artigo nacional e 1 comunicação a congresso
- Por cada Dissertação de Mestrado: 1 artigo internacional, 2 artigos nacionais e 1 comunicação a congresso
- Por cada Dissertação de Doutoramento: 3 artigos internacionais, 3 artigos nacionais e 6 comunicações a congressos

Prevêem-se as seguintes publicações em revistas e congressos:

- 7 Relatórios de estágio
- 10 Dissertações de Mestrado
- 9 Dissertações de Doutoramento
- 54 Artigos nacionais
- 71 Comunicações a congressos
- 37 Artigos internacionais





## **PARTE II – PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**



# 1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desenvolvimento das Linhas de Investigação propostas no Programa de Investigação da Parte I deste trabalho implica a realização de três níveis de estudos:

- Estudos que consistem no levantamento de informação e na sistematização de dados de base para o desenvolvimento da investigação.

Esses estudos envolvem pesquisa bibliográfica para apurar qual o tipo de informação necessária, qual o melhor modo de agrupar os dados existentes de forma a serem úteis para o prosseguimento da investigação e onde procurar os elementos necessários; requerem a recolha e análise da informação existente na área pretendida quer através de elementos bibliográficos quer através de deslocações aos locais e inquéritos a empresas ou particulares; finalmente, implicam o tratamento da informação recolhida.

Este tipo de tarefas não exigem conhecimentos específicos numa determinada área científica para além da formação geral da licenciatura nem treino em trabalho de investigação, podem ser realizadas em períodos relativamente curtos (da ordem de seis meses) com orientação de um investigador mas também com um grau de autonomia bastante elevado.

Considera-se que os estudos deste tipo podem ser realizados por jovens licenciados, contribuindo para a sua formação, já que exigem determinação, disciplina e rigor e são directamente aplicáveis na investigação subsequente, o que transmite a noção de utilidade do trabalho efectuado.

Estes estudos podem ser realizados por jovens licenciados no âmbito de trabalhos de estágio.

- Estudos que envolvem pesquisa bibliográfica, aplicação a novos casos de métodos previamente desenvolvidos, total ou parcialmente e análise dos resultados, permitindo um avanço nos conhecimentos. Envolvem em geral trabalho experimental ou trabalho de campo.

Estes estudos são realizáveis em cerca de um ano desde que exista já uma preparação especializada na área em causa, conferida, por exemplo, pela parte curricular de um Curso de Mestrado; pressupõem autonomia de trabalho relativamente elevada mas também capacidade de interacção com outros investigadores da mesma área, mesmo que com formações diferentes; implicam a aquisição de capacidades de investigação; conduzem a novos conhecimentos.

Estes estudos podem constituir Dissertações de Mestrado.

- Estudos mais elaborados e mais longos, realizáveis em cerca de três anos por alunos de doutoramento, com formação especializada na área científica em causa e algum treino de trabalho de investigação. Implicam pesquisa bibliográfica de forma a dominar o estado da arte da matéria abrangida, pesquisa e experimentação de métodos inovadores, aplicação a casos novos e análise de resultados de forma a produzir avanços significativos nos conhecimentos.

Estes estudos podem constituir Dissertações de Doutoramento.

No Programa de Investigação desenvolvido na Parte I, as quatro Linhas de Investigação propostas foram apresentadas já de certa forma organizadas como Planos de Trabalhos de Estágio e Planos de Dissertações de Mestrado e de Dissertações de Doutoramento. No entanto, ficou claro que para uma parte dos estudos propostos a coordenação por um investigador com formação em engenharia civil poderia não ser a melhor opção, sendo preferível uma coordenação conjunta com investigadores de outras áreas, ou mesmo uma predominância de outras áreas de formação.

No presente Programa de Pós-graduação optou-se por desenvolver os estudos englobados nas linhas de investigação 3 e 4, por serem as mais claramente susceptíveis de serem coordenadas pela autora deste trabalho (ou por outro investigador com formação semelhante).

Assim, neste Programa, para além das Considerações Iniciais apresentadas no capítulo 1, apresentam-se, no capítulo 2, os Trabalhos de Estágio propostos, no capítulo 3 as Dissertações de Mestrado e no capítulo 4 as Dissertações de Doutoramento. Finalmente, no capítulo 5 termina-se com algumas Considerações Finais.

## **2. TRABALHOS DE ESTÁGIO**

### **2.1– Introdução**

Os trabalhos de estágio propostos como contribuição para o desenvolvimento das Linhas de Investigação 3 – Compatibilidade e durabilidade de revestimentos para edifícios antigos – e 4 – Revestimentos de substituição – consistem fundamentalmente em recolha, sistematização e tratamento de informação de base para a prossecução dos trabalhos de investigação a realizar.

Assim, para a Linha 3, no Projecto 3 A – Caracterização dos suportes – é necessário reunir informação sobre os vários tipos de paredes de edifícios antigos: materiais que as constituem, dimensões, tipologias construtivas, zonas do País e frequência com que surgem. Este estudo constituirá o Trabalho de Estágio TE 3.1.

Ainda para a Linha 3, mas no Projecto 3 D – Durabilidade de revestimentos para edifícios antigos – é necessário recolher dados sobre as condições climáticas e a respectiva evolução nos últimos anos com relevância para a durabilidade dos revestimentos. Estes dados incluem ciclos diários e anuais de temperaturas e de humidades relativas do ar, além de volumes de precipitação. Este estudo será realizado através do Trabalho de Estágio TE 3.2.

Para a Linha 4, no Projecto 4 A – Argamassas de substituição. Melhoria das soluções de cal aérea – é necessário um levantamento dos tipos de areias mais usadas em Portugal na execução de argamassas de reboco. As origens dessas areias, as suas características principais e os problemas que a sua utilização pode levantar, são dados com importância para o estudo, a realizar através do Trabalho de Estágio TE 4.1.

Todos estes trabalhos têm componentes de análise bibliográfica, de trabalho de campo, de tratamento e organização de dados e finalmente de colaboração em trabalho experimental.

## 2.2 – Trabalho de estágio TE 3.1: Levantamento de tipos de suportes antigos com revestimentos de argamassa

Este trabalho envolve uma recolha de informação sobre paredes antigas – tipologias construtivas, materiais, dimensões, usos – e o respectivo tratamento e sistematização de modo a poder ser utilizada nos estudos de caracterização dos suportes. Inclui ainda a colaboração na selecção de alguns casos de estudo de cada tipo que poderão ser utilizados nos trabalhos de investigação sobre caracterização dos suportes e na recolha de informação sobre as técnicas construtivas desses edifícios.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 14.

**Quadro 14 – Planeamento das acções a realizar no âmbito do trabalho de estágio TE 3.1**

| Acção  | Mês |   |   |   |   |   |
|--|-----|---|---|---|---|---|
|  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Recolha de informação sobre tipologias construtivas de paredes em Portugal (com base bibliográfica e de campo)   |     |   |   |   |   |   |
| Desenvolvimento dessa informação com dados sobre as principais características conhecidas dos vários tipos de paredes, com base bibliográfica (sensibilidade à água, resistência aos sismos, etc.) |     |   |   |   |   |   |
| Tratamento e organização desses dados tendo em conta época construtiva, localização, tipo de construção  |     |   |   |   |   |   |
| Colaboração na selecção de alguns casos de estudo de cada tipo de parede   |     |   |   |   |   |   |
| Colaboração na recolha de informação sobre as técnicas construtivas usadas em cada um dos edifícios seleccionados como casos de estudo   |     |   |   |   |   |   |

Os custos associados à realização deste Trabalho de Estágio são:

- Bolsa do estagiário: 7320 €
- Deslocações no País: 1000 €
- Consumíveis (fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 100 €
- **Total: 8420 €**

### **2.3 – Trabalho de estágio TE 3.2: Levantamento de condições climáticas relevantes para a durabilidade de revestimentos antigos**

Este trabalho envolve a recolha dos principais dados climáticos e ambientais em várias zonas do País (devem ser seleccionadas cinco ou seis regiões com condições climáticas e ambientais bem diferenciadas) e a respectiva evolução nos últimos anos, com recurso, essencialmente, aos dados do Instituto de Meteorologia e aos dados recolhidos pelos diversos postos de observação meteorológicos. A variação diária e anual da humidade relativa e da temperatura do ar, o volume de precipitação ao longo do ano e os períodos médios de tempo de ocorrência ininterrupta, assim como a direcção e pressão dos ventos dominantes, farão parte dos dados climáticos a recolher.

A concentração de monóxido de carbono e de dióxido de enxofre e a concentração de sais na humidade atmosférica (nevoeiro salino) serão os dados ambientais mais significativos, incluindo, sempre que possível, a variação destas condições nos últimos anos. Estes dados serão certamente mais difíceis de recolher que os climáticos, pelo que poderão ser restringidos a um pequeno número das regiões seleccionadas, mas tem-se conhecimento da existência de alguma informação nestas áreas.

O trabalho inclui também o tratamento e organização desses dados, a observação e registo de anomalias associadas em edifícios antigos e a colaboração na selecção de ciclos climáticos que representem as condições registadas.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 15.

**Quadro 15 – Planeamento das acções a realizar no âmbito do trabalho de estágio**

**TE 3.2**

| Acção   | Mês |   |   |   |   |   |
|---|-----|---|---|---|---|---|
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Recolha de dados climáticos e ambientais em várias zonas do País e das variações sofridas nos últimos anos.               |     |   |   |   |   |   |
| Tratamento e organização desses dados de modo a torná-los úteis para a definição de ciclos climáticos                     |     |   |   |   |   |   |
| Observação e registo de anomalias em edifícios antigos associadas às condições climáticas e ambientais                    |     |   |   |   |   |   |
| Colaboração na selecção e construção de ciclos climáticos representativos das condições registadas, de forma concentrada. |     |   |   |   |   |   |

Os custos associados à realização deste Trabalho de Estágio são:

- Bolsa do estagiário: 7320 €
- Deslocações no País: 1000 €
- Consumíveis (fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 100 €
- **Total: 8420 €**



## **2.4 – Trabalho de estágio TE 4.1: Levantamento dos agregados usados em argamassas: natureza, forma, granulometria**

Este trabalho envolve o levantamento dos tipos de agregados mais usados em argamassas em várias zonas do País e uma análise das potencialidades de evolução dessa situação. Devido à amplitude de um levantamento deste género, o trabalho terá que ser restringido a algumas regiões consideradas exemplificativas e aos agregados, dos vários tipos, mais usados.

A natureza, forma e curvas granulométricas dos agregados usados em cada região seleccionada devem ser registados e deve ser avaliada a possibilidade de continuação ou mesmo intensificação da exploração das pedreiras, quer em termos dos recursos existentes, quer no que se refere às condições económicas e ambientais para essa exploração.

O trabalho inclui o tratamento dos dados de forma a serem utilizáveis no estudo da influência dos agregados em rebocos de substituição e a colaboração na selecção de agregados a usar nesse estudo. Envolve ainda a colaboração na determinação das características dos agregados seleccionados: massa volúmica real, massa volúmica aparente, índice de vazios, curva granulométrica, coeficiente de forma, absorção de água, reactividade química.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 16.

## Quadro 16 – Planeamento das acções a realizar no âmbito do trabalho de estágio

### TE 4.1

| Acção  | Mês |   |   |   |   |   |
|--|-----|---|---|---|---|---|
|  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Levantamento dos tipos de agregados usados em argamassas nas várias zonas do País e análise das potencialidades de evolução dessa situação | ■   | ■ | ■ |   |   |   |
| Tratamento e organização desses dados de modo a serem utilizáveis no estudo da influência dos agregados nas argamassas                     |     |   | ■ | ■ |   |   |
| Colaboração na selecção dos agregados a seleccionar para o estudo da influência dos agregados nas argamassas                               |     |   |   | ■ |   |   |
| Colaboração na determinação das características dos agregados seleccionados.   |     |   |   |   | ■ | ■ |

Os custos associados à realização deste Trabalho de Estágio são:

- Bolsa do estagiário: 7320 €

- Deslocações no País: 1000 €

- Consumíveis (fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 100 €

- **Total: 8420 €**

## **3. DISSERTAÇÕES DE MESTRADO**

### **3.1 – Introdução**

No âmbito das Linhas de Investigação 3 e 4 propõem-se cinco estudos que implicam a aplicação de metodologias já conhecidas em novos casos, de forma a conduzirem a uma ampliação dos conhecimentos e que se considera poderem constituir Dissertações de Mestrado.

Para a Linha 3, no Projecto 3 B – Exigências de compatibilidade de rebocos de substituição – é necessário redefinir as exigências de compatibilidade dos rebocos para edifícios antigos tendo em conta as características quantificadas dos suportes onde vão ser aplicados, algumas condições específicas dos edifícios (nomeadamente a humidade ascendente e a exposição mais ou menos severa em termos climáticos e ambientais), e os avanços entretanto ocorridos na área, designadamente com os trabalhos da Comissão da RILEM TC RHM. Este estudo constituirá a Dissertação de Mestrado M 3.1.

Para a Linha 4, no Projecto 4 A – Argamassas de substituição: melhoria das soluções de cal aérea – identificam-se dois estudos passíveis de constituírem Dissertações de Mestrado. A Dissertação M 4.1 consistirá na análise de soluções de argamassas de cal aérea com incorporação de adjuvantes (nomeadamente introdutores de ar, hidrófugos e retentores de água), enquanto a Dissertação M 4.2 se debruçará sobre a elaboração de soluções de argamassas de cal aérea aditivada com terra e fibras, para utilização em suportes de terra (adobe e taipa).

Também para a Linha 4, mas no Projecto 4 B – Soluções intermédias – se propõe a Dissertação de Mestrado M 4.3 visando o estudo de avaliação de soluções de rebocos compatíveis com alguns suportes antigos, em determinadas condições, com base em cais hidráulicas nacionais ou de argamassas pré-doseadas em fábricas nacionais e a identificação das eventuais melhorias necessárias nesses produtos, assim como a delimitação dos respectivos campos de aplicação.

Ainda para a Linha 4, agora no Projecto 4 D – Pinturas de substituição – o desenvolvimento de exigências de compatibilidade e a avaliação de algumas soluções possíveis para pinturas de substituição a aplicar sobre rebocos de cal aérea constitui o tema da Dissertação de Mestrado M 4.4.

Estes estudos utilizam metodologias já testadas pelo grupo de investigação em que se vão inserir e abrem caminho para a utilização segura de um leque de soluções de revestimento para edifícios antigos, até ao momento escassas e de difícil disponibilidade.

### **3.2 – Dissertação de Mestrado M 3.1 – Exigências de compatibilidade de rebocos de substituição**

O trabalho previsto para esta Dissertação consiste no cruzamento dos vários elementos disponíveis para a identificação e quantificação das características a exigir a rebocos de substituição para edifícios antigos com vários tipos de suporte e na verificação experimental da adequabilidade dessas exigências.

As tarefas a realizar no âmbito da Dissertação serão:

- Pesquisa bibliográfica.
- Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos.
- Estabelecimento de relações entre as características dos revestimentos e dos suportes.
- Análise dos aspectos climáticos, ambientais e sociais potencialmente condicionantes.
- Cruzamento da informação obtida com as exigências anteriormente definidas, a nível nacional e internacional.

- Análise das propriedades de verificação experimental mais complexa e determinação de possíveis correlações com características mais fáceis de determinar.
- Estabelecimento de uma grelha de exigências quantificadas, tão simples quanto possível, aplicáveis a revestimentos para cada tipo de suporte, para diferentes situações específicas.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 17.

**Quadro 17 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado M 3.1**

| Acção   | Mês |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica  | ■   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |
| Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos   | ■   | ■ | ■ |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Estabelecimento de relações entre as características dos revestimentos e dos suportes   |     |   |   | ■ |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Análise dos aspectos climáticos, ambientais e sociais potencialmente condicionantes   |     |   |   |   | ■ |   |   |   |   |    |    |    |
| Cruzamento da informação obtida com as exigências anteriormente definidas, a nível nacional e internacional   |     |   |   |   |   | ■ |   |   |   |    |    |    |
| Análise das propriedades de verificação mais complexa e determinação de possíveis correlações com características mais fáceis de determinar                               |     |   |   |   |   |   | ■ | ■ |   |    |    |    |
| Estabelecimento de uma grelha de exigências quantificadas, tão simples quanto possível, de revestimentos para cada tipo de suporte, para diferentes situações específicas |     |   |   |   |   |   |   | ■ | ■ |    |    |    |
| Redacção da Dissertação   |     |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  |

Os custos associados à realização da Dissertação M 3.1 são:

- Bolsa do estudante de Mestrado: 14 640 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 2000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 200 €
- **Total: 16 840 €**

### **3.3 – Dissertação de Mestrado M 4.1 – Argamassas de cal aérea com adjuvantes**

A contribuição da Dissertação M 4.1 para a Linha 4 será a verificação da possibilidade de uso de determinados adjuvantes – introdutores de ar, hidrófugos e retentores de água – para melhorar as condições de aplicação, o desempenho e a durabilidade de argamassas de cal aérea, através da aplicação das metodologias de avaliação definidas nos Projectos 3 B e 3 D a formulações elaboradas com esses adjuvantes.

A realização do estudo envolverá as seguintes tarefas:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de dois adjuvantes de cada um dos tipos referidos – introdutores de ar, hidrófugos e retentores de água – existentes no mercado e recomendados para argamassas.
- Execução de provetes de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1 : 3 e cada um dos adjuvantes seleccionados e ainda de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia e com o mesmo traço mas sem adjuvantes, para termo de comparação.
- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas – estrutura porosa, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à compressão,

módulo de elasticidade, aderência ao suporte, avaliação da compatibilidade (ensaios definidos em 3 B) e da durabilidade (ensaios definidos em 3 D).

- Avaliação da influência dos vários adjuvantes, considerando os resultados obtidos nos ensaios.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 18.

**Quadro 18 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado M 4.1**

| Acção   | Mês |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica  | ■   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |
| Seleção de dois adjuvantes de cada um dos tipos referidos existentes no mercado e recomendados para argamassas  | ■   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de provetes de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada e cada um dos adjuvantes seleccionados e de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia e traço mas sem adjuvantes, para termo de comparação |     |   | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas  |     |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |
| Avaliação da influência dos vários adjuvantes, considerando os resultados obtidos nos ensaios   |     |   |   |   |   |   |   |   | ■ |    |    |    |
| Redacção da Dissertação   |     |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  |

Os custos associados à realização da Dissertação M 4.1 são:

- Bolsa do estudante de Mestrado: 14 640 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 2000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 200 €
- **Total: 16 840 €**

### **3.4 – Dissertação de Mestrado M 4.2 – Argamassas de cal aérea aditivadas com terra e fibras**

As paredes de terra exigem revestimentos com características específicas, capazes de resistir às variações dimensionais desses suportes e conferir-lhes alguma protecção à água, sem lhes transmitirem tensões elevadas.

A Dissertação de Mestrado M 4.2 procurará encontrar soluções viáveis para estes casos através da incorporação de terra e de fibras, naturais ou artificiais, em argamassas de cal aérea.

Para essa Dissertação prevêem-se as seguintes actividades:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de dois tipos de terra usada em construções de terra e quatro tipos de fibras – entre fibras artificiais e fibras naturais – disponíveis em Portugal e compatíveis com argamassas de cal em termos químicos (não susceptíveis de ataque pela cal) e físicos (com comprimento, diâmetro e textura passíveis de não dificultarem a amassadura da argamassa de cal).
- Execução de provetes de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1 : 3 e cada um dos aditivos (terras e fibras) seleccionados e de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia e o mesmo traço mas sem aditivos, para termo de comparação.



- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas – estrutura porosa, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência ao suporte, avaliação da compatibilidade (ensaios definidos em 3 B) e da durabilidade (ensaios definidos em 3 D). No caso dos ensaios a realizar sobre argamassas aplicadas sobre um suporte (aderência e durabilidade, por ex.) deve ser usado o suporte adobe ou taipa.
- Avaliação da influência dos vários aditivos, considerando os resultados obtidos nos ensaios.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 19.

**Quadro 19 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado M 4.2**

| Acção   | Mês |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica  | ■   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |
| Seleccção de dois tipos de terra usada em construções de terra e quatro tipos de fibras disponíveis em Portugal   | ■   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de provetes de argamassas de cal aérea com areia siliciosa bem graduada e cada um dos aditivos seleccionados e de uma argamassa padrão de cal aérea com a mesma areia e traço mas sem aditivos, para termo de comparação |     |   | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas  |     |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |
| Avaliação da influência dos vários aditivos, considerando os resultados obtidos nos ensaios   |     |   |   |   |   |   |   |   | ■ |    |    |    |
| Redacção da Dissertação   |     |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  |

Os custos associados à realização da Dissertação M 4.2 são:

- Bolsa do estudante de Mestrado: 14 640 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 2000 €
- Consumíveis e serviços (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 500 €
- **Total: 17 140 €**

### **3.5 – Dissertação de Mestrado M 4.3 – Avaliação da compatibilidade de soluções intermédias de fabrico nacional**

Embora as argamassas de cal aérea sejam as mais compatíveis com paredes antigas por se aproximarem mais das soluções originais usadas, existem soluções intermédias, baseadas por exemplo em cal hidráulica ou pré-doseadas com traços fracos em ligante hidráulico e adjuvantes ou aditivos que podem ser adequadas para determinados suportes desde que sejam minimizados os aspectos mais desfavoráveis.

A Dissertação M 4.3 visa identificar materiais de fabrico nacional que possam ter um desempenho aceitável em condições específicas, definir campos de aplicação e otimizar soluções desse tipo.

As actividades a realizar no âmbito dessa Dissertação serão as seguintes:

- Pesquisa bibliográfica
- Selecção dos produtos a estudar (duas cais hidráulicas eventualmente com algumas variantes de fabrico e quatro produtos pré-doseados fabricados em Portugal).
- Execução de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 (cal:areia) e de argamassas com o mesmo traço e a mesma areia com cada uma das cais hidráulicas seleccionadas.

- Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas e sobre as argamassas pré-doseadas seleccionadas – estrutura porosa, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência ao suporte, avaliação da compatibilidade (ensaios definidos em 3 B) e da durabilidade (ensaios definidos em 3 D).
- No caso das argamassas de cal hidráulica se revelarem demasiado resistentes e rígidas, repetição dos ensaios com menor teor de ligante ou com mistura de cal aérea.
- Execução de painéis das argamassas estudadas com melhor desempenho, para realização de ensaios *in situ*.
- Avaliação dos resultados e definição de campos de aplicação possíveis para as argamassas estudadas.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 20.

**Quadro 20 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado M 4.3**

| Acção   | Mês |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica  | ■   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |
| Seleccção dos produtos a estudar (cais hidráulicas produtos pré-doseados fabricados em Portugal)  | ■   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de provetes de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 e de argamassas com o mesmo traço e a mesma areia com cada uma das cais hidráulicas seleccionadas |     |   | ■ | ■ | ■ |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização de ensaios físicos sobre estas argamassas e sobre as argamassas pré-doseadas seleccionadas   |     |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |
| No caso das argamassas de cal hidráulica se revelarem demasiado resistentes e rígidas, repetição dos ensaios com menor teor de ligante ou com mistura de cal aérea  |     |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ |    |    |    |
| Execução de painéis das argamassas estudadas com melhor desempenho para realização de ensaios <i>in situ</i>  |     |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ |    |    |    |
| Avaliação dos resultados e definição de campos de aplicação possíveis para as argamassas estudadas  |     |   |   |   |   |   |   |   | ■ |    |    |    |
| Redacção da Dissertação   |     |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  |

Os custos associados à realização da Dissertação M 4.3 são:

- Bolsa do estudante de Mestrado: 14 640 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 2000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 500 €
- **Total: 17 140 €**

### **3.6 – Dissertação de Mestrado M 4.4 – Pinturas de substituição**

A contribuição da Dissertação M 4.4 para a Linha 4 consistirá na avaliação da compatibilidade de pinturas para edifícios antigos. As tintas de cal sem aditivos serão tomadas como padrão, por serem as mais próximas das pinturas originais. As tintas de cal com aditivos, as tintas de silicatos e as tintas de siloxanos serão materiais a estudar.

Esta Dissertação incluirá as seguintes actividades:

- Pesquisa bibliográfica
- Selecção das soluções de pintura a ensaiar: uma tinta de cal sem aditivos (solução de comparação); uma ou mais tintas de cal com aditivos; duas ou mais tintas de silicatos; duas ou mais tintas de siloxanos.
- Caracterização das tintas através de ensaios químicos e físicos.
- Ensaios de comportamento das tintas em laboratório, sem suporte e aplicadas sobre um suporte de argamassa de cal aérea.
- Adaptação para aplicação a revestimentos por pintura dos ensaios definidos nos Projectos 3 C e 3 D Para a avaliação da compatibilidade e da durabilidade.
- Aplicação das soluções de pintura em painéis no exterior e realização de ensaios *in situ*.
- Avaliação final da adequabilidade das soluções testadas, da sua compatibilidade e durabilidade.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 21.

**Quadro 21 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Mestrado M 4.4**

| Acção  | Mês |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1   | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica   | ■   | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■  | ■  | ■  |
| Seleção das soluções de pintura a ensaiar  | ■   | ■ |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Caracterização das tintas através de ensaios químicos e físicos  |     |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |   |   |    |    |    |
| Ensaio de comportamento das tintas em laboratório, sem suporte e aplicadas sobre um suporte de argamassa de cal aérea                                    |     |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |   |    |    |    |
| Adaptação para aplicação a revestimentos por pintura dos ensaios definidos nos Projectos 3 C e 3 D para a avaliação da compatibilidade e da durabilidade |     |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ | ■ |    |    |    |
| Aplicação das soluções de pintura em painéis no exterior e realização de ensaios <i>in situ</i>  |     |   |   |   |   |   | ■ | ■ | ■ |    |    |    |
| Avaliação final da adequabilidade das soluções testadas, da sua compatibilidade e durabilidade   |     |   |   |   |   |   |   |   | ■ |    |    |    |
| Redacção da Dissertação  |     |   |   |   |   |   |   |   |   | ■  | ■  | ■  |

Os custos associados à realização da Dissertação M 4.4 são:

- Bolsa do estudante de Mestrado: 14 640 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 2000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 200 €
- **Total: 16 840 €**

## **4. DISSERTAÇÕES DE DOUTORAMENTO**

### **4.1 – Introdução**

Os trabalhos do Programa de Investigação com maior fôlego, exigindo maior grau de inovação, nomeadamente ao nível das metodologias e um maior domínio do estado da arte das matérias relacionadas com o tema devem ser realizados através de Dissertações de Doutoramento. Estes trabalhos são também os que conduzirão a avanços mais significativos dos conhecimentos na área dos revestimentos para edifícios antigos, abrindo simultaneamente o caminho para novas soluções e para um melhor uso das soluções actualmente disponíveis.

Para o desenvolvimento das Linhas 3 e 4 propõem-se seis Dissertações de Doutoramento, no âmbito dos Projectos 3 A, 3 C, 3 D, 4 A, e 4 C.

A Dissertação de Doutoramento D 3.1 insere-se no Projecto 3 A – Caracterização dos suportes – e visa a determinação das características, relevantes para a compatibilidade dos revestimentos, de seis tipos de paredes antigas, dos quais se destacam: alvenaria regular de pedra (terá que se escolher a natureza da pedra, sendo o granito uma hipótese a considerar), alvenaria irregular de pedra ou mista de pedra e tijolo, alvenaria regular de tijolo maciço, paredes pombalinas com gaiola de madeira preenchida por alvenaria irregular e paredes de terra (adobe e taipa).

No âmbito do Projecto 3 C – Exigências de compatibilidade de argamassas de colagem de azulejos – a Dissertação de Doutoramento D 3.2 deverá identificar e quantificar as características a exigir para argamassas de colagem de revestimentos azulejares antigos.

A Dissertação de Doutoramento D 3.3 insere-se no Projecto 3 D – Durabilidade de revestimentos para paredes antigas – e pretende definir metodologias de avaliação da durabilidade de argamassas para edifícios antigos em diversas condições de exposição às acções climáticas e ambientais.

Para a Linha 4, no Projecto 4 A – Argamassas de substituição: melhoria das soluções compatíveis – a Dissertação de Doutoramento D 4.1 centra-se na análise da influência dos agregados e da sua natureza, forma dos grãos e curva granulométrica, nas características da argamassa e, em consequência, no seu desempenho e durabilidade; por outro lado, a Dissertação de Doutoramento D 4.2 visa o estudo da influência das condições de cura e do modo de preparação e aplicação da argamassa, com vista a definir recomendações.

A Dissertação de Doutoramento D 4.3 será uma contribuição para o Projecto 4 C – Argamassas de substituição: Incorporação de resíduos industriais – e tem como objectivo avaliar a viabilidade da incorporação de vários tipos de resíduos industriais em argamassas de cal aérea, designadamente como aditivos pozolânicos.

Estes estudos devem originar progressos significativos nos conhecimentos sobre soluções de revestimentos para edifícios antigos, com vantagens de comportamento, de durabilidade e ao nível ambiental e devem abrir novas perspectivas nesta área.

#### **4.2 – Dissertação de Doutoramento D 3.1 – Caracterização de paredes antigas com vista a definir a compatibilidade de revestimentos**

Esta Dissertação tem como objectivo a caracterização das mais significativas tipologias de paredes antigas existentes em Portugal, visando o estabelecimento de exigências de compatibilidade dos rebocos a aplicar sobre elas. Implica a definição de metodologias de ensaio e uma análise experimental complexa, aplicável a vários tipos de paredes.

Considera-se, à partida, que devem ser estudadas as seguintes tipologias: alvenaria regular de pedra (possivelmente granito); alvenaria irregular de pedra ou mista de pedra e tijolo; alvenaria regular de tijolo maciço; paredes pombalinas com gaiola de madeira e alvenaria de enchimento; e paredes de terra (adobe e taipa).

Contudo, estas tipologias podem representar um trabalho excessivo para uma única Dissertação, pelo que será possível, após a definição da metodologia a usar e a sua aplicação a alguns tipos, incorporar trabalhos de menor fôlego (por exemplo Dissertações de Mestrado sobre um único tipo de parede) ou aproveitar trabalho



eventualmente já realizado, desde que com metodologias compatíveis (por exemplo trabalho sobre paredes de taipa realizado por Luís Mateus, trabalhos sobre alvenarias irregulares de Fernando Pinho e de Abel Soeiro e trabalhos sobre paredes de adobe da Universidade de Aveiro).

As tarefas a realizar no âmbito da Dissertação D 3.1 serão:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de seis tipos de suportes particularmente significativos – alvenaria regular de pedra; alvenaria irregular de pedra ou mista de pedra e tijolo; alvenaria de tijolo maciço, paredes pombalinas e paredes de terra (adobe e taipa) – e de quatro ou cinco casos de estudo representativos de cada um deles.
- Elaboração de um plano de ensaios que permita caracterizar os suportes dos vários casos de estudo, recorrendo a ensaios *in situ* e a ensaios laboratoriais. Para a elaboração do plano devem ser tidos em conta os últimos Projectos de Investigação, a nível europeu e nacional, em que têm sido estudados e adaptados métodos de ensaio para paredes antigas.
- Execução de modelos dos vários tipos de suporte para completar o conjunto dos ensaios de laboratório, admitindo que não será possível extrair provetes das paredes antigas com dimensões suficientes para alguns dos ensaios, nomeadamente de resistência à compressão e ao corte e de deformação sob cargas.
- Realização dos ensaios *in situ* e de laboratório sobre materiais da parede (argamassa de juntas e pedras ou blocos) e de laboratório sobre modelos de parede.
- Determinação das principais características de cada um dos tipos de paredes relevantes para a avaliação da compatibilidade de revestimentos, nomeadamente: resistência à compressão, resistência ao corte, módulo de elasticidade (deformabilidade sob cargas), estrutura porosa, absorção de água (coeficiente de capilaridade e absorção máxima), sucção, capacidade de secagem, coeficiente de dilatação térmica e de dilatação higríca.

- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 22.

**Quadro 22 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento D 3.1**

| Acção  | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Seleccção de suportes-tipo mais significativos e casos de estudo representativos de cada um deles                              |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Elaboração de um plano de ensaios de caracterização dos suportes recorrendo a ensaios <i>in situ</i> e a ensaios laboratoriais |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de modelos dos vários tipos de suporte para ensaios de laboratório  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização dos ensaios <i>in situ</i> e de laboratório sobre materiais da parede e de laboratório sobre modelos de parede      |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Determinação das principais características de cada um dos tipos de paredes  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Redacção da Dissertação  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Os custos associados à realização da Dissertação D 3.1 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 600 €
- Equipamento complementar e manutenção: 5000 €

**- Total: 67 560 €**

### **4.3 – Dissertação de Doutoramento D 3.2 – Exigências de compatibilidade de argamassas de colagem de azulejos**

As argamassas de colagem de azulejos, embora sejam argamassas de revestimento, têm exigências específicas, quer de desempenho quer de compatibilidade. Com efeito, as diferentes acções a que estão sujeitas implicam características diferenciadas, nomeadamente no que se refere à aderência e às variações dimensionais. Por outro lado, a compatibilidade define-se em relação ao suporte, mas também em relação aos azulejos antigos, que é necessário preservar.

A Dissertação D 3.2 visa estabelecer as exigências a cumprir por argamassas a usar na colagem de azulejos antigos, englobando as seguintes actividades:

- Pesquisa bibliográfica.
- Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos azulejares.
- Determinação das características dos principais tipos de azulejos antigos usados em revestimentos de paredes exteriores de edificios antigos.
- Estudo de vários tipos de argamassas usadas no assentamento de azulejos antigos.
- Estabelecimento de relações entre as características das argamassas, dos suportes e dos azulejos tendo em conta as acções que incidem sobre este tipo de fachada.
- Análise dos aspectos climáticos, ambientais e sociais potencialmente condicionantes.
- Cruzamento da informação obtida com as exigências definidas para as argamassas de revestimento em geral, a nível nacional e internacional.
- Estabelecimento de exigências quantificadas, tão simples quanto possível, de revestimentos para cada tipo de suporte, para diferentes situações específicas.

- Verificação experimental da adequabilidade das soluções propostas sobre os suportes em causa, através da realização de ensaios de durabilidade definidos no Projecto 3D.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 23.

**Quadro 23 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento D 3.2**

| Acção  | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| Pesquisa bibliográfica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Análise das características dos principais tipos de suporte relevantes para a compatibilidade dos revestimentos azulejares                                       |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Determinação das características dos principais tipos de azulejos antigos usados em paredes exteriores antigas   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Estudo de vários tipos de argamassas usadas no assentamento de azulejos antigos  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Estabelecimento de relações entre as características das argamassas, dos suportes e dos azulejos tendo em conta as acções que incidem sobre este tipo de fachada |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Análise dos aspectos climáticos, ambientais e sociais potencialmente condicionantes  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Cruzamento da informação obtida com as exigências definidas para as argamassas de revestimento em geral  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Estabelecimento de exigências quantificadas para revestimentos para cada tipo de suporte, em diferentes situações específicas                                    |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Verificação experimental da adequabilidade das soluções propostas sobre os suportes em causa, através da realização de ensaios de durabilidade                   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Redacção da Dissertação  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |

Os custos associados à realização da Dissertação D 3.2 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis (materiais, fotografias, cópias, tinteiros, etc.): 600 €
- Equipamento complementar e manutenção: 2000 €
- **Total: 64 560 €**

#### **4.4 – Dissertação de Doutoramento D 3.3 – Durabilidade de revestimentos para edifícios antigos**

A durabilidade dos revestimentos de substituição é um importante parâmetro a considerar na definição das soluções a adoptar e no estudo da sua viabilidade técnica e económica. No entanto, não existem procedimentos de avaliação quantificados e seguros. Os ensaios de envelhecimento artificial acelerado conhecidos em bibliografia são definidos empiricamente e não são sistematicamente comparados com o envelhecimento natural, nem são validados de outra forma cientificamente aceitável.

A Dissertação de Doutoramento D 3.3 visa a definição e validação de ensaios de envelhecimento artificial acelerado que abranjam os vários aspectos envolvidos – acções climáticas, poluição, sais existentes no ar, nos materiais e nas fundações – e ainda diferenciar as acções conforme as condições locais e quantificar a resposta.

Prevê-se a inclusão das seguintes actividades:

- Pesquisa bibliográfica.
- Definição de ciclos de envelhecimento artificial acelerado que reproduzam, de forma intensificada, as acções climáticas e ambientais sofridas pelos revestimentos exteriores, calibradas para várias zonas do País.

- Realização dos ensaios definidos, com monitorização da evolução da carbonatação e de eventuais reacções hidráulicas. Acompanhamento da evolução da porosimetria, da resistência mecânica e da absorção e secagem da água durante o ensaio, através de extracção de provetes e ensaio em várias fases dos ciclos.
- Calibração dos ensaios através: i) da comparação com argamassas idênticas sujeitas a envelhecimento natural; ii) da comparação dos efeitos em termos químicos e físicos com os encontrados em argamassas antigas, nos estudos já realizados, e completando-os, se necessário, com os ensaios de porosimetria, absorção de água e resistência à compressão.
- Análise global dos resultados e extracção de conclusões. Ajustamento e definição final de ensaios de durabilidade adequados para várias zonas.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 24.

**Quadro 24 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento D 3.3**

| Acção  | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Definição de ciclos de envelhecimento artificial acelerado que reproduzam, de forma intensificada, as acções climáticas e ambientais sofridas pelos revestimentos exteriores |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização dos ensaios definidos, com monitorização da evolução das características das argamassas   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Calibração dos ensaios através da comparação com argamassas novas sujeitas a envelhecimento natural e com argamassas antigas   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Análise global dos resultados e conclusões. Ajustamento e definição final de ensaios de durabilidade adequados para várias zonas   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Redacção da Dissertação  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Os custos associados à realização da Dissertação D 3.3 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis e serviços (execução de modelos, materiais, consumo do equipamento de ensaio em energia e lâmpadas, etc.): 2000 €
- Equipamento complementar e manutenção: 4000 €
- **Total: 67 960 €**



## **4.5 – Dissertação de Doutoramento D 4.1 – Influência das condições de cura e de aplicação**

A melhoria do comportamento das argamassas de cal implica o aprofundamento da influência das condições de cura e das técnicas de preparação e de aplicação destas argamassas, que são particularmente sensíveis a essas condições. Com efeito, a rapidez e a forma da carbonatação depende muito da humidade durante os primeiros meses, condicionando, assim, a estrutura porosa e as características mecânicas e hídricas. Paralelamente, o modo de aplicação do revestimento condiciona também a porosidade e as características da argamassa.

A Dissertação de Doutoramento D 4.1 tem por objectivo contribuir para a compreensão desta relação entre a cura e a aplicação e o comportamento, de modo a permitir fazer recomendações ajustadas em obra sobre a cura e a aplicação, que conduzam a revestimentos com características mais adequadas e um comportamento melhorado.

Incluirá as seguintes actividades:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de cinco condições de cura relevantes: i) condições da Norma Europeia EN 1015-11 (20°C / 98% HR seguido de 20°C / 65% HR); ii) condições próximas das definidas pelo CSTB (CSTB, 1993) (20°C / 50% HR) e usadas até ao presente no LNEC para argamassas de cal (Veiga e tal., 2004b); iii) alternância húmido/seco (20°C / 98% HR alternando com 50% HR) iv) alternância húmido/seco (20°C / 98% HR alternando com 75% HR); v) ambiente médio constante (20°C / 75% HR.).
- Selecção de duas técnicas de preparação da argamassa: i) cal apagada em pó; ii) cal em pasta; e três técnicas de aplicação: i) uma única camada espessa; ii) duas camadas com metade da espessura; iii) três camadas com um terço da espessura cada uma.
- Execução de provetes de argamassa de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1: 3.

- Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa com as várias condições de cura e uma preparação e aplicação normalizadas; monitorização da carbonatação; observações com MEV.
- Numa 2ª fase, selecção das duas melhores curas e realização dos ensaios de avaliação da compatibilidade e da durabilidade.
- Numa 3ª fase, repetição de todos os ensaios com as duas técnicas de preparação seleccionadas (mantendo a aplicação padrão) e repetição com as duas técnicas de aplicação seleccionadas em todos os ensaios para os quais estas técnicas forem relevantes (agora mantendo a preparação padrão).
- Finalmente, repetição de todos os ensaios escolhendo as melhores das condições testadas: melhor cura, melhor preparação e melhor aplicação.
- Avaliação da influência das várias condições, considerando os resultados obtidos nos ensaios e preparação de recomendações tendo em conta esses resultados.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 25.

**Quadro 25 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de  
Doutoramento D 4.1**

| Acção  | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|--|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |  |
| Pesquisa bibliográfica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Seleccção de seis condições de cura relevantes   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Seleccção de duas técnicas de preparação da argamassa e duas técnicas de aplicação   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Execução de provetes de argamassa de cal aérea e areia siliciosa bem graduada 1:3 com as diferentes condições de cura e preparação e aplicação normalizadas  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa com as várias condições de cura e uma preparação e aplicação normalizadas com monitorização da evolução                 |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Numa 2ª fase, selecção das duas melhores curas e realização dos ensaios de avaliação da compatibilidade e da durabilidade  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Numa 3ª fase, repetição de todos os ensaios com as duas técnicas de preparação seleccionadas e repetição com as duas técnicas de aplicação seleccionadas em todos os ensaios para os quais estas técnicas forem relevantes |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Repetição de todos os ensaios escolhendo as melhores condições testadas: melhor cura, melhor preparação e melhor aplicação   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Avaliação da influência das várias condições, considerando os resultados obtidos nos ensaios e preparação de recomendações   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |
| Redacção da Dissertação  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |  |

Os custos associados à realização da Dissertação D 4.2 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis e serviços (execução de modelos, materiais, consumo do equipamento de ensaio em energia e lâmpadas, etc.): 600 €
- Equipamento complementar e manutenção: 2000 €
- **Total: 64 560 €**

#### **4.6 – Dissertação de Doutoramento D 4.2 – Influência das areias: natureza, forma e granulometria**

O papel dos agregados na argamassa é, talvez, tão significativo como o do ligante. A estrutura porosa e, em consequência, o comportamento à água e às acções físicas e mecânicas, é em grande parte definida pelos agregados, que, além desta influência física, podem também ser quimicamente reactivos, dando origem a novos compostos.

A Dissertação de Doutoramento D 4.2 propõe analisar a influência da natureza dos agregados – nomeadamente areias siliciosas, calcárias, graníticas e basálticas – a importância da forma – agregados britados, mais ou menos angulosos – e da curva granulométrica – mais ou menos compacta, com maior ou menor teor de finos.

As actividades a desenvolver serão as seguintes:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de um conjunto de areias usadas no País com diferentes naturezas: siliciosa, basáltica, calcária e granítica.
- Estabelecimento de uma curva granulométrica padrão, correspondente a uma compactidade optimizada.
- Execução de argamassas de cal aérea com as várias areias seleccionadas, com a curva granulométrica padrão.

- Realização de ensaios físicos e mecânicos: estrutura porosa, absorção de água, permeabilidade ao vapor de água, resistência à compressão, módulo de elasticidade, aderência ao suporte, avaliação da compatibilidade (ensaios definidos em 3 B) e da durabilidade (ensaios definidos em 3 D).
- Realização de ensaios químicos: estudo das alterações químicas produzidas por eventuais reacções dos agregados com a cal e pesquisa de eventuais compostos pozolânicos formados, em particular no caso do agregado basáltico.
- Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias agora com mais duas curvas granulométricas diferentes, conduzindo num caso a baixa compactidade (do tipo areia monogranular) e noutra a compactidade intermédia.
- Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias, usando as curvas granulométricas de compactidade optimizada e alterando a forma dos grãos.
- Avaliação da influência dos factores: natureza da areia, curva granulométrica e forma dos grãos.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 26.

**Quadro 26 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de  
Doutoramento D 4.2**

| Acção   | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|---|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|   | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Seleção de um conjunto de areias usadas no País com diferentes naturezas: siliciosa, basáltica, calcária e granítica  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Estabelecimento de uma curva granulométrica padrão, correspondente a uma compactidade otimizada   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de provetes de argamassas de cal aérea com as várias areias seleccionadas, com a curva granulométrica padrão   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização de ensaios físicos, mecânicos, de compatibilidade e de durabilidade  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização de ensaios químicos: estudo das alterações químicas produzidas por eventuais reacções dos agregados com a cal e pesquisa de eventuais compostos pozolânicos formados |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias com mais duas curvas granulométricas diferentes, conduzindo num caso a baixa compactidade e noutra a compactidade intermédia |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Realização dos mesmos ensaios com as mesmas areias, usando as curvas granulométricas de compactidade otimizada e alterando a forma dos grãos                                    |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Avaliação da influência dos factores: natureza da areia, curva granulométrica e forma dos grãos   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Redacção da Dissertação   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Os custos associados à realização da Dissertação D 4.2 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis e serviços (execução de modelos, materiais, consumo do equipamento de ensaio em energia e lâmpadas, etc.): 600 €
- Equipamento complementar e manutenção: 2000 €
- **Total: 64 560 €**

#### **4.7 – Dissertação de Doutoramento D 4.3 – Incorporação de resíduos com características pozolânicas**

Pretende-se estudar a viabilidade técnica da incorporação em argamassas de cal aérea de resíduos industriais com reactividade pozolânica.

A viabilidade económica e o impacto ambiental em termos de reciclagem de resíduos, tendo em conta eventuais consumos energéticos, nomeadamente na moagem, serão também objecto de estudo.

Uma Dissertação de doutoramento poderá ser o resultado desta pesquisa para um conjunto de resíduos a identificar na indústria nacional. Referem-se, como exemplos possíveis, os resíduos de vidro e os resíduos cerâmicos.

As actividades previstas nesta Dissertação são:

- Pesquisa bibliográfica.
- Selecção de resíduos industriais com possível actividade pozolânica.
- Determinação para os vários resíduos do teor de sílica amorfa (para avaliar o grau de pozolanicidade possível) e da reactividade pozolânica; determinação do teor de sais (para despistar um importante factor de incompatibilidade).

- Execução de provetes de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 (cal:areia) e de argamassas com a mesma areia com cada um dos resíduos seleccionados, ao traço 1:1:4 (cal:resíduo:areia) ou outro que tenha surgido, para cada resíduo, como mais adequado após os ensaios preliminares de teor de sílica amorfa.
- Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa padrão e das argamassas com os vários resíduos, nos traços escolhidos; observações com MEV para identificação de possíveis compostos hidráulicos das reacções pozolânicas.
- Se necessário, correcção ou experiências adicionais com outras proporções dos vários resíduos.
- Numa 2ª fase, selecção das proporções de resíduos de melhor desempenho e realização dos restantes ensaios físicos e de determinação da compatibilidade e da durabilidade.
- Aplicação de painéis das argamassas estudadas para observação da evolução com o tempo e ensaios *in situ* com várias idades.
- Avaliação da eficácia dos vários resíduos testados e de eventuais efeitos negativos.
- Avaliação da viabilidade de utilização dos resíduos e dos impactes ambiental e económico.
- Redacção da Dissertação.

O planeamento e calendarização das acções a realizar sintetizam-se no quadro 27.



**Quadro 27 – Planeamento das acções a realizar no âmbito da Dissertação de Doutoramento D 4.3**

| Acção  | Trimestre |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
|  | 1         | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Pesquisa bibliográfica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Seleção de resíduos industriais com possível actividade pozolânica   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Determinação do teor de sílica amorfa e da reactividade pozolânica e do teor de sais dos vários resíduos   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Execução de provetes de uma argamassa padrão de cal aérea e areia siliciosa bem graduada ao traço volumétrico 1:3 (cal:areia) e de argamassas com a mesma areia com cada um dos resíduos seleccionados, ao traço 1:1:4 (cal:resíduo:areia) ou outro que se tenha verificado como mais adequado |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Numa 1ª fase, realização de um conjunto reduzido de ensaios físicos de caracterização da argamassa padrão e das argamassas com os vários resíduos; observações com MEV para identificação de possíveis compostos hidráulicos das reacções pozolânicas.   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Se necessário, correcção ou experiências adicionais com outras proporções dos vários resíduos  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Numa 2ª fase, selecção das proporções de resíduos de melhor desempenho e realização dos restantes ensaios físicos e de determinação da compatibilidade e da durabilidade   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Aplicação de painéis das argamassas estudadas para observação da evolução com o tempo e ensaios <i>in situ</i>   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Avaliação da eficácia dos vários resíduos testados e de eventuais efeitos negativos  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Avaliação da viabilidade de utilização dos resíduos e dos impactes ambiental e económico   |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |
| Redacção da Dissertação  |           |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |

Os custos associados à realização da Dissertação D 4.3 são:

- Bolsa do estudante de Doutoramento: 57 960 €
- Deslocações no País e no estrangeiro: 4000 €
- Consumíveis e serviços (execução de modelos, materiais, consumo do equipamento de ensaio em energia e lâmpadas, etc.): 600 €
- Equipamento complementar e manutenção: 2000 €
- **Total: 64 560 €**

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Programa de Pós-graduação descrito permite concretizar duas das Linhas de Investigação propostas no Programa de Investigação apresentado na parte inicial deste documento.

A realização deste Programa contribuirá para balizar as intervenções sobre revestimentos de edifícios antigos, com informação sobre soluções compatíveis para cada caso e tão duráveis quanto possível. A conservação e preservação das características e da imagem do Património arquitectónico e histórico são os objectivos fundamentais a perseguir.

A economia e a sustentabilidade das soluções são tidas em conta, por consideração dos valores da durabilidade e da conservação, da economia de energia, da reciclagem, do uso dos recursos nacionais.

As condições de execução do Programa no LNEC, em parceria com Universidades, autarquias e outras Instituições e, eventualmente, com empresas, parecem não oferecer dúvidas.

Para o tornar viável é necessário contar com recursos humanos altamente qualificados e motivados. Contudo, o interesse despertado nos últimos anos, entre os jovens licenciados, pela Conservação do Património, constitui a maior razão de optimismo. A testemunhá-lo está o número de trabalhos de investigação (Projectos, Dissertações de Mestrado e de Doutoramento, publicações científicas) nacionais sobre esta temática, assim como os Cursos de Mestrado e os Diplomas de Formação Avançada nesta área que têm sido iniciados nas principais Universidades do País, nomeadamente as que têm cursos de Engenharia Civil e de Arquitectura.

As duas primeiras Linhas de Investigação do Programa, não contempladas neste Programa de Pós-graduação, poderão beneficiar do mesmo tipo de condições favoráveis e ser objecto de outros Programas de pós-graduação, alargados a licenciados e Mestres com formações de base mais diversificadas.

Para a realização destes trabalhos, como para a realização de todos os trabalhos de investigação, é necessário que as Instituições de Investigação e as entidades financiadoras continuem a reforçar a aposta na Investigação Científica, mesmo que por vezes em detrimento de actividades com lucro mais imediato, e concentrem esforços no aproveitamento das sinergias existentes.

## BIBLIOGRAFIA

1. ADRIANO, P.; SANTOS SILVA, A.; MIRÃO, J. A. P.; CANDEIAS, A. E. – *Caracterização de argamassas da Igreja de Santa Maria de Évora*. 2º Encontro de Pós-graduação em investigação e ensino de Ciências Físicas e da Terra da Universidade de Évora, Outubro de 2005.
2. ADRIANO, P.; SANTOS SILVA – *Caracterização de argamassas antigas da Igreja de Santa Maria de Évora – Sé Catedral de Évora*. Relatório 59/06-NMM Lisboa: LNEC, Março de 2006a.
3. ADRIANO, P.; SANTOS SILVA – *Caracterização de argamassas antigas do período romano e árabe da Vila de Mértola*. Relatório 200/06-NMM Lisboa: LNEC, Julho de 2006b.
4. ADRIANO, P.; CRUZ, T.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R.; CANDEIAS, A.; MIRÃO, J. – *Mineralogical comparison study of old mortars from Southern Portugal Cathedrals (Évora and Elvas)*. Materiais 2007, Porto, Abril 2007a.
5. ADRIANO, P.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R.; MIRÃO, J.; CANDEIAS, A. – *Microscopic characterization of old mortars from the Santa Maria church in Évora*. A apresentar em 11th Euroseminar on microscopy applied to building materials, Porto, Junho 2007b.
6. AGUIAR, José; VALVERDE, Isabel, TAVARES, Martha; PINCHO, Inês – *Análises cromáticas para o Projecto Integrado do Castelo*, Relatório 239/96-NA, Lisboa: LNEC, 1996.
7. AGUIAR, José; TAVARES, Martha; MENDONÇA, Isabel - *Fingidos de madeira e de pedra, Breve historial técnicas de execução de restauro e de conservação*, Lisboa: CENFIC, 1998.

8. AGUIAR, José - *Estudos cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos*, Évora: Universidade de Évora, Tese de Doutoramento, Agosto, 1999.
9. AGUIAR, José - *Algumas questões sobre cor e cidade histórica: Évora, exemplar e pioneira (como sempre)*, Revista Centros Históricos, Santarém: AMCH, 2000.
10. AGUIAR, José; TAVARES, Martha; VEIGA, Rosário - *Consolidação de revestimentos exteriores (rebocos e guarnecimentos) de edifícios antigos. Reflexões para um plano de estudos*. Relatório. Lisboa: LNEC, Setembro, 2001.
11. ANZANI, A.; GARAVAGLIA, E.; BINDA, L. – *Time dependent behaviour of historic masonry: a probabilistic model*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006a.
12. ANZANI, A.; BINDA, L.; FONTANA, A.; TEDESCHI, C. – *Repair of damaged multiple leaf masonry specimens: initial results*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006b.
13. APPLETON, João – *Reabilitação de Edifícios Antigos. Patologias e tecnologias de intervenção*. Lisboa: Edições ORION, Setembro de 2003.
14. ARANDIGOYEN, M.; ALVAREZ, J. – *Blended pastes of cement and lime: pore structure and capillary porosity*. Applied Surface Science, 252, 2006, pp. 8077-8085.
15. ASCASO, C.; WIERZCHOS, J.; SOUZA-EGYPSY, V.; DE LOS RÍOS, A.; DELGADO RODRIGUES, J. – *In situ evaluation of the biodeteriorating action of microorganisms and the effects of biocides on carbonate rock of the Jeronimos Monastery (Lisbon)*. International Biodeterioration and Biodegradation, 49, 2002, 1-12.
16. ASTM – Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. ASTM C666-97, 1997.
17. ASTM – Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulphate or magnesium sulphate. ASTM C88-05, 2005.

18. BAGLIONI, P.; DEI, L.; FERRONI, E.; PIQUE, F.; SARTI, G. – *New autogeneous lime-based grouts used in the conservation of lime-based wall paintings*. *Studies in Conservation*, 42, 1997, pp 43-54.
19. BALKSTEN, Kristin; KLASÉN, Kenth – *The influence of craftsmanship on the inner structures of lime plasters*. RILEM Workshop, Delft, January 2005.
20. BARONIO, G.; BINDA, L.; FURLAN, V. – *Gli intonaci e i colori delle siedlungen di Bruno Taut*. *L'Edilizia*, 10 Ottobre 1989, anno 3. In *Studies on mortars sampled from historic buildings. Selected papers 1983-1999*, vol I. Politécnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, 1996a.
21. BARONIO, G.; BINDA, L., SAISI, A. – *Analisi di malte antiche e comportamento di malte riprodotte in laboratorio*. Convegno Nazionale L'ingegneria sísmica in Itália. Siena, 25-28 Settembre, 1995. In *Studies on mortars sampled from historic buildings. Selected papers 1983-1999*. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, 1996b.
22. BARONIO, G.; BINDA, L.; SAISI, A.; SQUARCINA, T. – *Il Borgo di Castevoli: proposta per un método d'indagine del degrado*. L'Ingegneria sísmica in Itália 1991. Atti del 5° Convegno Nazionale, Vol 2. In *Studies on mortars sampled from historic buildings. Selected papers 1983-1999*, vol I. Politécnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale, 1996c.
23. BARTOS, P.; GROOT, C.; HUGHES, J. (editores) – *Historic mortars: Characteristics and tests*. Proceedings of the International RILEM Workshop PRO 12, Paisley, Scotland, May 1999.
24. BESSA PINTO, J.; SANTOS SILVA, A. – *Lime mortars with pozzolans. The S. Julião da Barra and Ericeira case studies (in Portuguese)*. In 3° ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
25. BINDA, L.; FONTANA, A.; FRIGERIO, G. – *Mechanical behaviour of brick masonries derived from unit and mortar characteristics*. In 8th Int. Brick/block Masonry Conf., Dublin, Ireland, Sept 1988.

26. BINDA, L.; SAISI, A.; TIRABOSCHI, C. – *Investigation procedures for the diagnosis of historic masonries*. Construction and Building Materials, 14, 2000, 199-233.
27. BINDA, L.; CARDANI, G.; SAISI, A. – *A classification of structures and masonries for the adequate choice of repair*. Proceedings of the workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. DELFT: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
28. BINDA, L.; BOSILJKOV, V.; SAISI, A.; ZANZI, L. – *Guidelines for the diagnosis of historic buildings*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006.
29. BORRELLI, E. – *Conservation of Architectural heritage, historic structures and materials salts*. Rome: International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM), 1999.
30. BRAGA REIS, M. O. – *Difracção de Raios X. Curso Técnicas de Caracterização Química e Físico-Química de Materiais*. Lisboa: LNEC, 1994.
31. BRANDI, Cesare – *Teoria del Restauro*. Turim: Piccola Biblioteca Einaudi, 1963.
32. BRIMBLECOMBE, P.; GROSSI, C. M.; HARRIS, I. – *Climate change critical to cultural heritage*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
33. BSI – *Code of practice for cleaning and surface repair of buildings – Part 1: Cleaning of natural stones, brick, terracotta and concrete*. BS 8221-1:2000. London: BSI, 2000a.
34. BSI – *Code of practice for cleaning and surface repair of buildings – Part 2: Surface Repair of natural stones, brick and terracotta*. BS 8221-2:2000. London: BSI, 2000b.
35. BROMLET, PHILIPPE; MARTINET, GILES; MARTIN, FRANÇOIS – *Approach for compatible mortars for restoration purposes: stone reparations of the roman amphitheatre of Arles*. Proceedings of the workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. DELFT: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.



36. BUENFIELD, N. – *Transport in Concrete*. Notes of ACT Course, 1999/2000. Imperial College of London, UK.
37. BUJ, O.; GISBERT, J. – *Evaluation of three consolidants in Miocene sandstone from the Ebro basin*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
38. CAILLEUX, E.; MARIE-VICTOIRE, E.; SOMMAIN, D. ; BROUARD, E. – *Microstructure and weathering mechanisms of natural cements used in the 19th century in the French Rhône-Alpes region*. Proceedings of the workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. DELFT: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
39. CALLEBAUT, K.; VIAENE, W.; VAN BALEN, K. – *Production of historic lime mortars: evidences from old mortar analyses and laboratory tests*. Madrid: 12th International Masonry Conference, Junho de 2000.
40. CANDEIAS A. Estêvão; NOGUEIRA P.; MIRÃO, J.; SANTOS SILVA, A.; VEIGA, R.; CASAL, M. Gil; RIBEIRO, I.; SERUYA, A. I. – *Characterization of ancient mortars: present methodology and future perspective*. In Workshop on Chemistry in the Conservation of Cultural Heritage: present and future perspectives, Aveiro, Abril 2006.
41. CANEVA, G.; NUGARI, M. P.; SALVADORI, O. – *Biology in the conservation of Works of art*. Rome: ICCROM, 1991.
42. CANHA DA PIEDADE, A. – *A reabilitação de edifícios como factor de desenvolvimento sustentável*. In 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios – Patorreb 2006. Porto, 20 e 21 de Março de 2006. Conferência.
43. CARRIO, J. – *Patología de cerramientos e acabados arquitectónicos*. Madrid: Editorial Munilla (Leria) – Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica – UPM, 2000.
44. CARVALHO, Fernanda – *Comportamento mecânico de alvenarias. Influência de alguns parâmetros nas suas resistências à compressão e ao corte*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Especialista e acesso à categoria de

Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: LNEC, 1990.

45. CASTRO, Elda – *Determination of the pore-size distribution in stones by means of the moisture suction*. Lisboa: LNEC, 1974, Memória M 441.
46. CAVACO, Luís; VEIGA, M. Rosário – *Render application techniques for ancient buildings*. Proceedings 2nd International Symposium on Building Pathology, Durability and Rehabilitation. Lisboa: LNEC, Novembro de 2003.
47. CAVACO, Luís – *Técnicas de aplicação de argamassas de revestimento em edifícios antigos. Influência no desempenho*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico (IST). Lisboa: IST, 2005.
48. CEN – *Natural stone test methods. Determination of resistance to salt crystallization*. CEN, 1999. EN 12370:1999.
49. CEN – *Methods of test for mortar for masonry – Part 21: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with substrates*. CEN, 2002. EN 1015-21:2002.
50. CHIARI, G.; SANTARELLI, M.J.; TORRACA, G. – *Caratterizzazione delle Malte Antiche Mediante L'Analise di Campioni non Frazionati*. *Materiali e Strutture*, 1992, pp. 111-137.
51. CHIARI, G.; TORRACA, G.; SANTARELLI, M.J. – *Recommendations for Systematic Instrumental Analysis of Ancient Mortars: The Italian Experience*. *Standards for Preservation and Rehabilitation*, ASTM STP 1258, 1996, pp. 275-284.
52. CRUZ, C.; VEIGA, R.; FERREIRA, V. – *Evaluation of Durability of Clay Roofing Tiles*. *Materiais 2007*, Porto, Abril de 2007.
53. CRUZ, T; SANTOS SILVA, A.; CANDEIAS, A. E.; MIRÃO, J.– *Caracterização química e mineralógica de argamassas da Igreja de N.ª Sr.ª da Misericórdia de Elvas*. 2º Encontro de Pós-graduação em investigação e ensino de Ciências Físicas e da Terra da Universidade de Évora, Outubro de 2005.

54. CRUZ, T.; SANTOS SILVA, A. – *Caracterização de argamassas da Igreja de Nossa Sr<sup>a</sup> da Assunção (Elvas) e do castelo da Amieira do Tejo (Nisa)*. Lisboa: LNEC, Julho 2006. Relatório 215/06-NMM.
55. CSTB – Modalités d’essais. Certification CSTB des enduits monocouches d’imperméabilisation. Paris : CSTB, Cahier 2669-4, 1993.
56. DAVIDOVITS, Frédéric – *Les mortiers de pouzzolanes artificielles chez Vitruve. Évolution et historique architecturale*. Thèse de D.E.A. Les Cultures de l’Antiquité Classique, Université Paris X-Nanterre, 1993.
57. DELGADO RODRIGUES, J. – *In the search for tentative recommendations regarding compatible restoration mortars*. In Proceedings Pact 56 “Compatible materials for the protection of European cultural heritage”. Athens: Technical chamber of Greece, 1998, pp. 141-147.
58. DELGADO RODRIGUES, J. & PINTO, A. – *Estudo de produtos consolidantes para a Torre de Belém, Intervenção de conservação exterior*. Lisboa: IPPAR, 2000.
59. DELGADO RODRIGUES, J. – *Inovação em Conservação do Património*. In Encontro Nacional sobre Qualidade e Inovação na Construção, QIC 2006. Lisboa: LNEC, 21 a 24 de Novembro de 2006.
60. DELGADO RODRIGUES, J.; GROSSI, A. – *Compatibility. Building up an operative concept for masonry conservation*. Lisboa: LNEC, 2006, Memória M 832.
61. EL-TURKI, A., BALL, R.; ALLEN, G. – *Simulated ageing of lime mortars – a mechanical property, structural and compositional study*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
62. ELSSEN, J. – *Microscopy of historic mortars – a review*. Cement and Concrete Research, 36, 2006, 1416-1424.
63. FERRAGNI, D.; FORTI, M.; MALLIET, J.; MORA, P.; TEUTONICO, J. M.; TORRACA, G. – *Injection grouting of mural paintings and mosaics, Adhesives and Consolidants*, London, 1984.

64. FERRAGNI, D.; FORTI, M.; MALLIET, J.; TORRACA, G. – *Technique di conservazione degli intonaci*, Atti del Convergnio di Studi Bressanone 1985, vol. I, Pádua, pp. 327-338.
65. FITZNER, B. ; SNETHLAGE, R. – *Einfluss der Porenradien-vertelung auf das VerwitterungsverhaltenaugesgwawhalterSandsteine*. Bautenschutz und Bausennirung 3, 1982, pp. 97-103.
66. FITZNER, B. – *Porosity properties and weathering behaviour of natural stones. Methodology and examples*. In *Stone Materials and Monuments: Diagnosis and Conservation – 2<sup>nd</sup> course*.Bari: Mario Adda Editore, 1994.
67. FITZNER, B.; HEINRICHS, K.; LA BOUCHARDIÈRE, D. – *Weathering damage on Pharaonic sandstone monuments in Luxor-Egypt*. Building and Environment, 38, 2003, pp. 1089-1103.
68. FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. – *A manutenção predictiva de edificios*. Revista Construção Magazine, nº 9, 2º trimestre, Ano 3, 2004, pp. 14-20.
69. FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. – *Técnicas de ensaio in situ para apoio à manutenção predictiva de rebocos de fachada*. In *2º Encontro sobre patologia e reabilitação de edificios – PATORREB 2006.*, Porto: FEUP, 20-21 de Março de 2006, pp. 701-710.
70. FRAGATA, A.; VEIGA, M. R.; VELOSA, A.; FERREIRA, V. – *Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento – avaliação da sua influência nas características da argamassa*. Aceite para apresentação no 2º Congresso Nacional de Argamassas da Construção, a realizar em Lisboa, em Novembro de 2007.
71. FREITAS, Vasco – *Transferência de humidade em paredes de edificios. Análise do fenómeno de interface*. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto para obtenção do grau de Doutor, 1992.
72. FURLAN, V. ; BISSEGGER, P. – *Les mortiers anciens, histoire et essais d'analyse scientifique*. Revue suisse d'art et d'archéologie 32, 1975, pp. 2-14.

73. GIL CASAL, M. – *Terras corantes: o que são e para que servem In Pigmentos e corantes naturais: entre as Artes e as Ciências*. Actas do Workshop efectuado a 5 de Março de 2005. GIEPCN: Universidade de Evora, 2007.
74. GIORGI, R.; DEI, L.; BAGLIONI, P. – *A new method for consolidating wall paintings based on dispersions of lime in alcohol*. *Studies in Conservation*, 45, 2000, pp. 154-161.
75. GONÇALVES, T.; DELGADO RODRIGUES, J. D.; SANDERS, M.; VANHEES, R.; LUXÁN, M. P. – *Rebocos para edificios históricos sujeitos à acção de sais solúveis. Apresentação do Projecto COMPASS e principais conclusões das entrevistas*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
76. GONÇALVES, Teresa – *Salt crystallization in plastered or rendered walls*. Thesis carried out at the Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) for the purpose of obtaining a PhD degree in Civil Engineering at the Universidade Técnica de Lisboa, within the scope of a partnership contract between Instituto Superior Técnico and LNEC. Lisboa: IST, February 2007. Provisional Document.
77. GONZÁLEZ, M. L. G – *Exame Científico Aplicado a la Conservación de Obras de Arte*. Madrid: Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, 1994.
78. GROOT, C.; BARTOS, P., AND HUGHES J. – *Characterisation of Old Mortars with Respect to their Repair*. 12th International Brick/Block Masonry Conference, Madrid, 2000, pp. 815-827.
79. HANSEN, E.; DOEHNE, E.; FIDLER, J.; LARSON, J.; MARTIN, B.; MATTEINI, M.; RODRIGUEZ-NAVARRO, C.; SEBASTÁN PARDO, E.; PRICE, C.; DE TAGLE, A.; TEUTONICO, J. M.; WEISS, N. - *A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials - Reviews in Conservation*. The International Institute for conservation of historic and artistic works. nº 4, 2003. Edited by Noelle Streeton.

80. HAYEN, R.; VAN BALEN, K.; VAN GEMERT, D. – *Triaxial testing of of historic masonry, test se-up and first results*. In WIT Press, Proceedings of Historical Buildings VII, Bologna, 2001, pp. 151-160.
81. HAYEN, R.; VAN BALEN, K. – *Bridging theory and practice*. Proceedings of workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. DELFT, RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
82. HENDRY, A. W. – *Aspects of stability and strength of stone masonry structures*. In Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Masonry Conference “The British Masonry Society”, n. 6, March 1994.
83. HENDRY, A. W. – *Masonry Walls, Materials and Construction*. Construction and Building Materials, 15, (8) 2001, pp.323-330.
84. HENRIQUES, Fernando M. A.- *Acção da humidade em paredes. Formas de manifestação, critérios de quantificação e análise de soluções de reparação*. Lisboa: IST, 1992. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa.
85. HENRIQUES, Fernando; JORGE, Virgolino – *Textos fundamentais*. Évora: SPPC. Cadernos SPPC, nº 1, 1996.
86. HENRIQUES, Fernando M. A.- *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 2001. Colecção Edifícios, CED 1 (3<sup>a</sup>ed.).
87. HENRIQUES, Fernando – *Conservação dos revestimentos exteriores do Palácio Nacional de Sintra*. Cadernos de Edifícios, nº 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002.
88. HENRIQUES, Fernando – *Challenges and perspectives of replacement mortars in architectural conservation*. Proceedings of workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. DELFT, RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
89. ISO – Buildings and Constructed assets – Service Life Planning – Part 1: General Principles. International Organization for Standardization, Switzerland, 2000. ISO 15686-1.

90. JEDRZEJEWSKA, H. – *Old Mortars in Poland: A New Method of Investigation*, Studies in Conservation, 1960, Vol. 5, n° 4, pp. 132-138.
91. KATSAGARAKIS, E. S. – *A new tensile test for concrete*. Materials and Structures, 20, (120), 1987.
92. KNOFEL, D. K.; HOFFMANN, D.; SNETHLAGE, R. – *Physico-chemical weathering reactions as a formulary for time-lapsing ageing tests*. RILEM technical committee TC 58-VPM. Materials and Structures, vol. 20, Issue 116, 1987.
93. LAMPRECHT, H.O. – *Opus Caementitium-Bautechnik der Romer*. Beton Verlag, Dusseldorf, 1996.
94. LANAS, J.; ALVAREZ, J.J. – *Masonry Repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behaviour*. Cement and Concrete Research, 33, 2003, pp. 1867-1876.
95. LANAS, J.; SIRERA, R.; ALVAREZ, J. I. – *Study of the mechanical behavior of masonry repair lime-based mortars cured and exposed under different conditions*. Cement and Concrete Research, 36, 2006, pp. 961-970.
96. LIVINGSTON, A.; WOLDE-TINSAE, A.; CHATURBAHAI, A. – *The use of gypsum mortar in historic buildings*. Proceedings of the second International Conference on the structural repair and maintenance of historic buildings. Sevilla, 1991, pp. 157-165.
97. LONGORET, Paul; DELOYE, F. Xavier – *Exploitation des données apportées pour l'analyse du béton durci*. Annales de L'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n° 417, Série Béton 216, 1983.
98. LUBELLI, B.; VAN HEES, R.; HUININK, H.; GROOT, C. – *Irreversible dilation of NaCl contaminated lime-cement mortars due to crystallization cycles*. Cement and Concrete Research, 36, 2006, pp. 678-687.
99. MA, Jyiau – *The Leshan Grand Buddha: Investigations of traditional and alternative materials for repairs*. Sechuan, China. International Colloquium

Methods of Evaluating products for the conservation of porous building materials in monuments. Roma, Junho de 1995.

100. MAGALHÃES, A. C.; VEIGA, M. R.; CARVALHO, F. – *Diagnosis of anomalies of wall renderings. Experimental techniques for in situ application*. Proceedings of XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, Portugal, 9-13 September 2002.
101. MAGALHÃES, Ana Cristian – *Patologia de rebocos antigos*. Cadernos de Edifícios, nº 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002.
102. MAGALHÃES, Ana Cristian; COSTA, Dória; VEIGA, M. Rosário – *Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio in situ. Avaliação da resistência mecânica*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
103. MAGALHÃES, Ana Cristian; MORAGUES, Amparo; VEIGA, M. Rosário – *Application of some methods on evaluation of porous systems of wall renderings*. VII Congreso Internacional de rehabilitación del patrimonio y edificación", Lanzarote, Julho de 2004. COM 109.
104. MAGALHÃES, Ana Cristian; MATIAS, Luís; VILHENA, António; VEIGA, M. Rosário; PINA DOS SANTOS, Carlos – *Non-destructive testing for the assessment of moisture defects on ancient walls. Some case studies*. In 8th International Conference on Non-destructive Investigations and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage, Lecce (Itália), Maio de 2005a. COM 115.
105. MAGALHÃES, Ana C.; VEIGA, M. Rosário; COSTA, Dória – *Caracterização do estado de conservação de revestimentos de paredes antigas através de ensaios "in situ". Dois casos de estudo*. In VI Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (VI SBTA), I International Symposium on Mortars Technology, Florianópolis (Brasil), 23-25 de Maio de 2005b.
106. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário – *Estudo comparativo de possíveis soluções de argamassas para revestimentos de paredes de edifícios*



*antigos*. In 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa, 24 e 25 de Novembro de 2005.

107. MAGALHÃES, Ana; VEIGA, M. Rosário - *Comparison of in-situ mechanical tests on masonry mortars: sphere impact and controlled penetration test*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006a.
108. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário – *Avaliação da resistência de amostras de argamassas históricas recolhidas em obra. Metodologia e correlação de resultados*. Lisboa: LNEC, Agosto de 2006b. Relatório 259/06 – NRI. Confidencial.
109. MAGALHÃES, Ana; VEIGA, M. Rosário; CARTAXO, Fernando – *Characterization of lime mortars with water-repellent for use on ancient buildings*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006.
110. MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário – *Physical and mechanical characterisation of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*. Artigo submetido a avaliação da revista *Materiales de Construcción* em Maio de 2007.
111. MALINOWSKI, R. – *Concrete and mortar in ancient aqueducts*. *Concrete International*, 1, 1979, pp. 66-76.
112. MALINOWSKI, R. – *Durable prehistoric ancient mortars and concretes*. In *Geopolymer 88*, Vol. 2, p. 223. Université de Technologie de Compiègne, 1988.
113. MARGALHA, M. Goreti – *O uso da cal em argamassas no Alentejo*. Dissertação de Mestrado em Conservação do Património. Évora: Universidade de Évora, 1997.
114. MARGALHA, M. Goreti - *Lime Renders in Southern Portugal*. Proceedings of the 5 th International Masonry Conference, British Masonry Society, 1998, pp.125-130.

115. MARGALHA, M. Goreti; VEIGA, M. Rosário; BRITO, Jorge. – *The maturation time factor in lime putty quality*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006.
116. MARAVELAKI-KALAITZAKI, P.; BAKOLAS, A., MOROPOULOU, A. – *Physico-chemical study of Cretan ancient mortars*. Cement and Concrete Research, 33 (2003), pp. 651-661.
117. MARQUES, Marco; DELGADO RODRIGUES, J. D. – *Estudo de consolidantes para tufos vulcânicos*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
118. MARTINEZ-RAMIREZ, S.; PUERTAS, F.; BLANCO VARELA M. T.; THOMPSON, G. E. – *Studies on degradation of lime mortars in atmospheric simulation chambers*. Cement and Concrete Research 27, pp. 777-785, 1997.
119. MASSARI, G.; MASSARI, I. – *Damp Buildings. Old and new*. Rome: International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property (ICCROM), 1993.
120. MATEUS, João Mascarenhas – *Técnicas tradicionais de construção de alvenarias*, Lisboa, Livros Horizontes, 2002.
121. MATEUS, Luís Pedro – *Caracterização de revestimentos usados em construções de taipa no barlavento algarvio*. Dissertação para obter o grau de Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico. Lisboa: IST, Dezembro de 2005.
122. MATERO, F. G.; BASS, A. – *Design and evaluation of hydraulic lime grouts for the reattachment of lime plasters on earthen walls*. Conservation and management of archaeological sites, 1, nº 2, 1995, pp. 97-108.
123. MIDDENDORF, B.; KNOFEL, D. – *Gypsum and lime mortars of historic German brick buildings*. In N. S. Baer, S. Fritz, R. Livingston (Eds.). Conservation of historic brick structures, Donhead Publ. Ltd. 1998, pp. 178-196.
124. MORA, L., MORA, P., PHILIPOT, P. – *La conservation des peintures murales*. Bologna, Editora Composition, 1977.

125. MOROPOULOU, A; BAKOLAS, A. – *Range of acceptability limits of physical, chemical and mechanical characteristics deriving from the evaluation of historic mortars*. Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, National Technical University, Atenas, 1998.
126. MOROPOULOU, A; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; CAKMAK, A. S. – *Compatible restoration mortars, preparation and evaluation for Hagia Sophia earthquake protection*. Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, National Technical University, Atenas, 1998.
127. MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; AGGELAKOPOULOU, E. – *The effects of limestone characteristics and calcinations temperature to the reactivity of the quicklime*. Cement and Concrete Research 31, 2001, 633-639.
128. MOROPOULOU, A.; POLIKRETI, K., BAKOLAS, A.; BISBIKOU, K., MICHAILIDIS, P. – *Correlation of physico-chemical and mechanical properties of historical mortars and classification by multivariate statistics*. Cement and Concrete Research 33, 2003, 891-898.
129. MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; AGGELAKOPOULOU, E. – *Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars*. Proceedings of Workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. Delft: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005a.
130. MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; MOUNDOULAS, P.; AGGELAKOPOULOU, E. ANAGNOSTOPOULOU, S. – *Strength development and lime reaction in mortars for repairing historic masonries*. Cement and Concrete Composites 27, 2005b, pp. 289-294.
131. MOROPOULOU, A.; BAKOLAS, A.; ANAGNOSTOPOULOU, S. – *Composite materials in ancient structures*. Cement and Concrete Composites 27, 2005c, 295-300.
132. MOSQUERA, M. J.; BENITEZ, D.; PERRY, S. H. - *Pore structure in mortars applied on restoration. Effect on properties relevant to decay of granite buildings*. Cement and Concrete Research, 32 (2002), pp. 1883-1888.

133. OGUCHI, C., MATSUKURA, Y.; SHIMADA, H.; KUCHITSU, N. – *Application of weathering susceptibility index to salt damage on a brick monument*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
134. ONSITEFORMASONRY Project Group – *On-site investigation techniques for the structural evaluation of historic masonry buildings. Results and research methodologies of onsiteformasonry*. EC Project financed by the European Commission EVK4-CT-2001-00060. CD. 2006.
135. PAILLÈRE, A.; GUINEZ, R. – *Recherche d'une formulation de coulis a base de liants hydrauliques pour l'injection des fines fissures et des cavités*. Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, n° 130, 1984, pp. 51-57.
136. PAIVA, H.; VELOSA, Ana; FERREIRA, V. – *Preliminary studies on the development of lime based mortars for adobe masonry*. Proceedings of Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
137. PAIVA, J. Vasconcelos - *Humidade nas edificações*. Lisboa, LNEC, 1969. Tese para obtenção do grau de especialista e acesso à categoria de Investigador Auxiliar do LNEC.
138. PAIVA, J. V.; AGUIAR, J.; PINHO, A. (coordendores) – *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional*. Lisboa: INH e LNEC, 2006.
139. PALOMO, A.; BLANCO-VARELA, M.T.; MARTINEZ-RAMIREZ, S.; PUERTAS, F.; FORTES, C. – *Historic mortars: Characterization and durability. New tendencies for research*. In Proceedings of the ARCCHIP Workshops supported from the EC 5th FP Project n° ICA1-CT-2000-70013, pp. 167-183, Prague, 2004.
140. PAPAYIANNI, Ioanna – *Criteria and methodology for manufacturing compatible repair mortars and bricks*. Compatible Materials Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, Atenas: National Technical University, 1998.
141. PAPAYIANNI, Ioanna; STEFANIDOU, Maria – *Repair mortars for monuments in Byzantine architecture*. 5th Congress on Restoration of Architectural Heritage. Florença, 2000.

142. PAPAYIANNI, I.; STEFANIDOU, M. – *Mortars for interventions in monuments and historic buildings*. *Advances in Architecture*, 2003, 15, pp. 57-64.
143. PAPAYANNI, I. – *Design and manufacture of repair mortars for interventions on monuments and historical buildings*. *Proceedings of the Workshop Repair Mortars for Historic Masonry*, TC RMH. DELFT: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
144. PAPAYANNI, I.; STEFANIDOU, M. – *Strength-porosity relationships in lime-pozzolan mortars*. *Construction and Building Materials*, 20, 2006, pp. 700-705.
145. PETKOVIC, Jelena, *Moisture and ion transport in layered porous building materials: a Nuclear Magnetic Resonance Study*, 2005, Tese de Doutoramento pela Eindhoven University of Technology.
146. PINCHO, Maria Inês – *Sobre a cor na conservação e reabilitação urbana, o caso do Centro Histórico de Sintra*. Prova final apresentada na faculdade de Arquitectura de Coimbra, Lisboa, LNEC, 1986.
147. PIRES, F. – *Influência das paredes de alvenaria no comportamento de estruturas reticuladas de betão armado sujeitas a acções horizontais*. Dissertação apresentada para obtenção do grau de Especialista e acesso à categoria de Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa: LNEC, 1990.
148. QUIRINO DA FONSECA – *Cal D. Fradique. Uma herança milenar*. Lisboa,: Gabinete Comercial Gráfico, Lda. 1996.
149. RATO, Vasco – *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.
150. RILEM, Commission 25-PEM, Protection et érosion des Monuments – *Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement*. *Recommandations provisoires*, 1980.
151. RILEM – *Determination of the durability of hardened mortar*, *Materials and Structures*, 31, January-February 1998, pp. 11-15. RILEM MS –A4

152. RODRIGUES, P. Faria – *Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes*. Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil na especialidade de Reabilitação do Património pela Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Lisboa, 2004.
153. RODRIGUES, P. Faria – *Construções em terra: conservação do património existente e perspectivas futuras*. In 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de edifícios – Patorreb 2006. Porto, 20 e 21 de Março de 2006.
154. RONDELET, J. B. – *Traité théorique de l’art de bâtir*, Paris, 1842.
155. RUAS, H. – *Os dez livros de arquitectura de Vitruvius*. 1ª edição da versão em Português. Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1998.
156. SABBIONI, C.; ZAPPIA, G.; RIONTINO, C.; BLANCO-VARELA, M. T.; AGUILERA, J.; PUERTAS, F.; VAN BALEN, K.; TOUMBAKARI, E. E. – *Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars*. *Atmos. Environ.*, 35, (2001). pp. 539-548.
157. SABBIONI, C.; BONAZZA, A.; ZAPPIA, G. – *Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal*. *Journal of Culture Heritage*, 3, 2002, pp. 83-88.
158. SABBIONI, C.; CASSAR, M.; BRIMBLECOMBE, P.; TIDBLAD, J.; KOZLOWSKI, R.; DRDÁKÝ, M.; SAIZ-JIMENEZ, C.; GRENTOFT, T.; WAINRIGHT, I.; ARIÑO, X. – *Climate change impact on built heritage and cultural landscapes*. In *Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006*, Madrid, June 2006.
159. SAMARASINGHE, W.; LAWRENCE, S.J. – *Compliance Requirements for Durability of Masonry Mortars*. In 9DBMC, Brisbane, Australia, 2002, Paper 102.
160. SANTIAGO, Cibèle Celestino – *Estudo dos materiais de construção, de Vitruvius até ao século XVIII. Uma visão crítico-interpretativa, à luz da ciência contemporânea*. Tese de Doutoramento em Conservação do Património Arquitectónico. Universidade de Évora, 2000.

161. SANTOS, Carlos Pina; MATIAS, Luís; MAGALHÃES, Ana Cristian; VEIGA, M. Rosário - *Application of thermography and ultra-sounds for wall anomalies diagnosis a laboratory research study*. Proceedings do International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE). Berlin, Germany, September 16-19, 2003.
162. SANTOS, Carlos Pina; VEIGA, M. Rosário; VILHENA, António; MAGALHÃES, Ana Cristian; MATIAS, Luís - *Desenvolvimento de metodologias para avaliação dos efeitos da humidade em paredes antigas*. Congresso CONSTRUÇÃO 2004. Porto: FEUP, Dezembro de 2004.
163. SANTOS SILVA, António. - *Análise Termogravimétrica e Análise Térmica Diferencial*. Curso Técnicas de Caracterização Química e Físico-Química de Materiais., Lisbon: LNEC 1994.
164. SANTOS SILVA, A.; SALTA, M.; BRAGA REIS, M. O. - *Microscopia Electrónica de Varrimento e Microanálise de Raios X por Dispersão de Energia*. Informação Científica e Técnica ITMC 22, Lisboa: LNEC, 1994.
165. SANTOS SILVA, António - *Caracterização de argamassas antigas – casos paradigmáticos*. Lisboa: LNEC, October 2002. Cadernos Edifícios, n.º 2, pp. 87-101.
166. SANTOS SILVA, António - *Caracterização da marmorite da fachada do edifício principal do do LNEC – Edifício Arantes e Oliveira*. Lisboa: LNEC, Janeiro de 2006. Nota Técnica 09/2006 – DM.
167. SANTOS SILVA, A.; RICARDO, J. M.; SALTA, M.; ADRIANO, P.; MIRÃO, J.; ESTÊVÃO CANDEIAS, A.; MACIAS, A. - *Characterization of Roman mortars from the historical town of Mértola*. Proceedings of the International Conference on Heritage, Weathering and Conservation, June 2006, Vol. I, Madrid, pp. 85-90.
168. SASSE, H. R.; SNETHLAGE, R. - *Methods for the evolution of stone conservation treatments*, in Baer, N. S. and Snethlage, R. (editors), *Saving our Architectural Heritage: The conservation of historic stone structures*, John Willey and Sons, Chichester, 1997, 223-43.

169. SCARZELLA, Paolo – *Terre coloranti naturali e tinte murali a base di terre* In *Seminário sobre cor e conservação de superfícies arquitectónicas*. Lisboa: LNEC, 2-3 Dezembro, 1999.
170. SCARZELLA, Paolo; Bardelli, Pier; Zerbinatti, Marco – *Soluzioni mirate di minimo intervento in cantiere di conservazione di paramenti murari otto novecenteschi*. Politécnico di Torino, Torino: Novembro de 2005. Não publicado.
171. SCHOUENBORG, Bjorn et al. – *Analysis of Old Lime Plaster and Mortar from Southern Sweden – A Contribution to the Nordic Seminar on Building Limes*. Swedish National Testing and Research Institute, SP REPORT, 1993.
172. SILVA, João; BRITO, Jorge; VEIGA, M. Rosário – *Reciclagem de Cerâmica de Barro Vermelho para Incorporação em Argamassas*. *Kéramica*. Nº 282, Coimbra, Janeiro/Fevereiro 2007, pp. 38-47.
173. SILVA, D. A.; WENK, H. R.; MONTEIRO, P. J. M. – *Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern*. *Termochimica Acta*, 438, 2005, pp. 35-40.
174. SNETHLAGE, R. – *Steinkonservierung 1979-1983*. Arbeitsheft nr 22, Bayer. Landesamt f. Denkmalpflege, Munchen, 1984.
175. SOEIRO, Abel – *Rebocos em paredes de pedra e cal*. Dissertação para obter o grau de Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico. Lisboa: IST, Agosto de 2005.
176. SOUSA COUTINHO, A.; GONÇALVES, A. – *Fabrico e propriedades do betão*. vol III, 2ª edição. Lisboa: LNEC, 1994.
177. STEFANIDOU, M.; PAPAYIANNI, I. – *The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars*. *Cement and Concrete Composites*, 2005, 27 (9-10), pp. 914-919.
178. STERFLINGER, K.; SERT, H.. – *Biodeterioration of buildings and works of art – practical implications on restoration practice*. In *Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006*, Madrid, June 2006.



179. TASSO, Th.; VACHLIOTIS, C.; SPANOS, C. – *In situ strength measurements of masonry mortars*. Proceedings of International Conference on Repair and Strengthening of Stone Masonries, Athens: CCROM, 1989, pp. 53-61.
180. TAVARES, Martha; MAGALHÃES, Ana; VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, J – *Análisis previo del estado de conservación de revestimientos antiguos. El diagnóstico a través de ensayos in situ y de laboratorio. Algunos casos de estudio*. VII Congreso Internacional de rehabilitación del patrimonio y edificación, Lanzarote, Julho de 2004.
181. TAVARES, Martha; MAGALHÃES, Ana; VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, José – *Métodos de diagnóstico para revestimientos de edificios antiguos. Importancia y aplicabilidad de los ensayos in situ*. Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, nº 53 – Especial critérios, Abril de 2005a. (págs. 11-17.)
182. TAVARES, Martha; AGUIAR, José; VEIGA, M. Rosário - *Uma metodologia de estudo para a conservação de rebocos antigos - o restauro através da técnica de consolidação*. In VI Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (VI SBTA), I International Symposium on Mortars Technology, Florianópolis (Brasil), 23-25 de Maio de 2005b.
183. TAVARES, Martha; VEIGA, M. Rosário; MAGALHÃES, Ana Cristian; AGUIAR, José – *Conservação dos revestimentos interiores da Sé de Évora. Relatório Preliminar*. Lisboa: LNEC, Agosto de 2005c. Relatório 272/05 – NRI. Confidencial.
184. TAVARES, Martha; VEIGA, M. Rosário – *Revestimentos exteriores de paredes do pavilhão de Segurança do Hospital Miguel Bombarda. Identificação de camadas e estudo cromático*. Lisboa: LNEC, Janeiro de 2006a. Relatório 13/06 – NRI. Confidencial.
185. TAVARES, Martha, VEIGA, M. Rosário - *Conservation of old renderings - the consolidation technique through traditional and sustainable materials: the lime water*. In Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006b.

186. TAVARES, Martha, - *Reparação das fachadas do Edifício Principal do LNEC. Metodologia de Conservação e Restauro* – Lisboa. LNEC, Outubro de 2006 (Apresentação oral).
187. TAVARES, Martha; VEIGA, M. Rosário – *A conservação de rebocos antigos – Restituir a coesão perdida através da consolidação com materiais tradicionais e sustentáveis*. Actas do VII Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, Brasil, Maio de 2007.
188. TEUTONICO, J.M. McCAIG, I., BURNS, C., ASHURST, J. – *The Smeaton Project: Factors affecting the properties of lime-based mortars*, Bulletin of the Association for Preservation Technology 25 (3-4), pp. 32-49, 1994.
189. TEUTONICO, Jeanne Marie – *A Laboratory Manual for Architectural Conservators*. International Centre for the Study of the Preservation and the Restoration of Cultural Property, Rome: ICCROM, 1998.
190. TIANO, P.; DELGADO RODRIGUES, J.; DE WITTE, E.; VERGÈS-BELMIN, V.; MASSEY, S.; SNETHLAGE, R.; COSTA, D.; CADOT-LEROUX, L.; GARROD, E.; SINGER, B. – *The conservation of monuments: A new method to evaluate consolidating treatments*. International Zeitschrift für Bauinstandesetzen und Baudenkmalpflege, 6, Jahrgang, Heft 2, 133-150, 2000.
191. TINZL, CHRISTOPH – *Removal of Salts from Lime Plaster by Means of Poulticing*. London, 1994
192. VÁLEK, Jan; HUGHES, John J.; BARTOS, Peter J. M. – *Compatibility of historic and modern lime mortars*. 12th International Masonry Conference, Madrid, Junho de 2000.
193. VALEK, Jan; VEIGA, M. Rosário – *Characterisation of mechanical properties of historic mortars*. Proceedings of STREMAH 2005 – Ninth International Conference on Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture, Malta, 22 a 24 Junho de 2005.

194. VAN HEES, R. P. J. - *Damage diagnosis and compatible repair mortars*. Proceedings of the International RILEM Workshop PRO 12. Edited by P. Bartos, C. Groot and J. J. Hughes. Paisley, Scotland, May 1999.
195. VAN HEES, R. P. J.; WIJFFELS, T. J.; VAN DER KLUGT, L. J. – *Thaumasite swelling in historic mortars: field observations and laboratory research*. Cement and Concrete Composites, 25, 2003, pp. 1165-1171.
196. VEIGA, M. Rosário et al – *Curso de Especialização sobre revestimentos de paredes*. Lisboa: LNEC, 1996.
197. VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, José - *Reabilitação do Forte de S. Bruno. Notas sobre os resultados da colaboração prestada pelo LNEC à CMO*. Actas do IV Encontro Nacional de Municípios com Centro Histórico, Oeiras, Novembro de 1996.
198. VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda – *Some performance characteristics of lime mortars for use on rendering and repointing of ancient buildings*. 5th International Masonry Conference, Londres, 1998. Lisboa: LNEC, 1998, Comunicação COM 15.
199. VEIGA, M. Rosário - *Abordagem à renovação de revestimentos com base em cal: requisitos, critérios de selecção e casos de estudo*. Em Actas do Seminário Cor e Conservação de superfícies Arquitectónicas. Lisboa, Dezembro de 1999.
200. VEIGA, M. do Rosário – *Protecção contra água de paredes de edificios antigos. Avaliação experimental da capacidade de protecção de argamassas de reboco com base em cal*. Actas do Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, REPAR 2000, Lisboa: LNEC, Junho de 2000, pp. 217-226.
201. VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda – *Ensaios in situ sobre argamassas antigas de juntas da Muralha de Tavira*. Lisboa: LNEC, Março de 2001. Nota Técnica NT 06/01 – NCct.
202. VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, J.; SANTOS SILVA, A.; CARVALHO, F.– *Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings*.

International Seminar Historical Constructions 2001. Guimarães: Universidade do Minho, Novembro de 2001.

203. VEIGA, M. Rosário; TAVARES, Martha – *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura*. In PINTUMED - A Indústria das Tintas no início do século XXI, Lisboa: APTETI, Outubro 2002.
204. VEIGA, M. Rosário; CARVALHO, Fernanda – *Argamassas de reboco para edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar*. Cadernos de Edifícios, nº 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002.
205. VEIGA, M. Rosário; AGUIAR, José – *Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos*. Actas do 1º Enc. Nac. sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – Patorreb 2003. Porto: FEUP, Março 2003.
206. VEIGA, M. Rosário – *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Actas do 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: LNEC, Maio de 2003.
207. VEIGA, M. Rosário; MAGALHÃES, Ana; BOSILIKOV, Violeta - *Capillarity tests on Historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results*. In International Masonry Conference, Amsterdam, July 2004a. COM 110, 2004a.
208. VEIGA, M. R.; AGUIAR, J.; SANTOS SILVA, A.; CARVALHO, F. – *Conservação e renovação de revestimentos de paredes de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, Julho 2004b. Coleção Edifícios, CED 9.
209. VEIGA, M. Rosário - *Characteristics of repair mortars for historic buildings concerning water behaviour. Quantification and requirements*. In Workshop Repair Mortars for Historic Masonry, TC RMH. Delft: RILEM, 25-28 de Janeiro de 2005.
210. VEIGA, M. Rosário – *Os revestimentos antigos e a identidade dos edifícios*. Arquitectura Ibérica. Reabilitação. nº 12, 2006.

211. VEIGA, M. Rosário; TAVARES, Martha; MAGALHÃES, Ana Cristian; SANTOS SILVA, António; CARVALHO, Fernanda; BAIÃO, Manuel; GRANDÃO LOPES, Jorge; NUNES, Lina – *Reparação das fachadas de marmorite do Edifício Principal do LNEC*. Lisboa: LNEC, Setembro de 2006. Relatório 262/06 – NRI.
212. VEIGA, M. Rosário; VELOSA, Ana; MAGALHÃES, Ana - *Evaluation of mechanical compatibility of renders to apply on old walls based on a restrained shrinkage test*. Materials and Structures (aceite para publicação; publicação on-line, Janeiro 2007a).
213. VEIGA, M. R.; SANTOS SILVA, A.; TAVARES, M. T.; MAGALHÃES, A. C. – *Conservação e restauro das fachadas de um edifício na Av. Álvares Cabral, em Lisboa*. Lisboa: LNEC, Fevereiro de 2007b. Relatório 42/2007 – NRI/MMM. Confidencial.
214. VEIGA, M. R.; VELOSA, A.; MAGALHÃES, A. C. - *Experimental Applications of mortars with pozzolanic additions. Characterization and performance evaluation*. Submetido a Building and Construction Materials, em Março de 2007c.
215. VEIGA, M. R.; TAVARES, M. T.; MAGALHÃES, A. C. – *Restauro da fachada em marmorite de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa* Materiais, métodos e resultados. In Actas do VII Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, Brasil, em Maio de 2007d.
216. Venice Charter, International charter for the Conservation and restoration of monuments and sites, Venice, 1964, <http://www.icomos.org/docs/venice.charter.html>.
217. VELOSA, Ana; VEIGA, M. Rosário – *The use of pozzolans as additives in lime mortars for employment in building rehabilitation*. In International Seminar “Historical Constructions 2001”, Proceedings. Guimarães, Universidade do Minho, Novembro de 2001.

218. VELOSA, Ana - *Influência das adições pozolânicas em argamassas de cal para conservação de edifícios antigos*. Cadernos de edifícios, nº 2, Lisboa, LNEC, 2002.
219. VELOSA, Ana; VEIGA, M. Rosário – *Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation. Adapted test methods*. In 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Proceedings. Brisbane, Austrália, Março de 2002.
220. VELOSA, Ana; COROADO, João; VEIGA, M. Rosário; ROCHA, Fernando - *Estudo da prática ancestral romana de incorporação de resíduos de tijolo para argamassas com presa hidráulica*. Actas do Congresso “A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos”, Vol. 2, Recursos Geológicos e Formação, pág. 391-401, Imprensa da Universidade, Coimbra, 2003.
221. VELOSA, Ana; COROADO, João; VEIGA, M. Rosário; ROCHA, Fernando – *Characterisation of roman mortars from Conímbriga in view to their repair*. In *10th Euroseminar on microscopy applied to building materials*. Paisley, 21-25 June 2005.
222. VELOSA, Ana; COROADO, João; ROCHA, Fernando – *Characterization of stone and mortar decay – Casa Major Pessoa, Aveiro*. Proceedings of Heritage, Weathering and Conservation HWC 2006, Madrid, June 2006.
223. VELOSA, Ana – *Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas*. Tese de Doutoramento apresentada na Universidade de Aveiro, Aveiro, Julho de 2006.
224. VELOSA, Ana; VEIGA, M. Rosário – *Development of artificial ageing tests for renders – application to conservation mortars*. In 7th International Brick Masonry Conference (7 IBMAC). London, October 30 to November 1, 2006.
225. VELOSA, A.; COROADO, J.; FERREIRA, V.; VEIGA, R. – *Monitoring of pozzolanic reaction of different pozzolanic materials in lime-pozzolan pastes*. In *Materiais 2007*, Porto, Abril 2007.

226. VELOSA, A.; VEIGA, M. R. – *Utilização de um sub-produto industrial como aditivo em argamassas de cal*. In VII Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, Recife, Brasil, em Maio de 2007.
227. VERMELFOOT, A. T. - *Durability of lime-based mortars in a severe climate. Result from field and artificial ageing tests*. Proceedings of the International RILEM Workshop PRO 12. Edited by P. Bartos, C. Groot and J. J. Hughes. Paisley, Scotland, May 1999.
228. VILHENA, António – *Anomalias devido à humidade na superfície corrente de paredes*. Dissertação elaborada no LNEC e apresentada na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física, Área de especialização: Ambiente em edifícios. Lisboa, 2002.
229. VILLANUEVA, L. – *Patología de guarnecidos y revocos, in: Patología y técnicas de intervención. Fachadas y cobiertas*. Tomo 4. Madrid: Editorial Munilla (Lería) – Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónica – UPM, 1998.
230. VON KONOW, Thorborg – *Restaurering och reparation med puts-och murbruk*. Abo akademis forlag – ABO AKADEMI UNIVERSITY PRESS. Abo (Finlândia), 1997a.
231. VON KONOW, T. – *Reliable restoration mortars-requirements and composition*. Proceedings of the 4th International Symposium on the Conservation of Monuments in the Mediterranean, 3, pp. 415-425. Edited by A. Moropoulou, F. Zezza, E. Koliass, I. Papachristodoulou, Rhodes 6-11 May 1997b.
232. VON LANDSBERG, D. – *The history of lime production and use from early times to the industrial revolution*. Zement-Kalk-Gips 8, 1992, pp. 199-203.
233. WALDUM, A.M.; ANDA, O. – *Durability of lime-based mortars in a severe climate. Results from field and artificial ageing tests*. Proceedings of the International RILEM Workshop, RILEM Publications S.A.R.L., 1999, pp. 297-306.
234. ZACHAROPOULOU Georgia – *The renaissance of lime based mortar technology. An appraisal of a bibliographic study*. Compatible Materials

Recommendations for the Preservation of European Cultural Heritage, National Technical University, Atenas, 1998.

235. ZAJADACZ, Karina; SIMON, Stefan - *Grouting of architectural surfaces - the challenge of testing*. In International Seminar Theory and Practice in Conservation a tribute to Cesare Brandi, Lisboa: LNEC, Maio de 2006, pp. 509 516.
236. ZERBINATTI, Marco – *Il restauro di manufatti in pietra artificiale: Messa a punto e sperimentazione di sistemi compatibili di pulitura, stuccatura, risarcimento*. Torino: Politécnico di Torino, Novembro de 2005. Não publicado.



