



RESTAURO DE ESTUQUES ANTIGOS COM PRODUTOS COMPATÍVEIS

Teresa Freire ¹, M. Rosário Veiga ², A. Santos Silva ³ e Jorge de Brito ⁴

¹ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, mtfreire@gmail.com

² Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, veiga@lnec.pt

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066, Lisboa, ssilva@lnec.pt

⁴ Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1, 1049-001, Lisboa, jb@civil.ist.utl.pt

Palavras-chave: Conservação e reabilitação do património edificado; Estuques de gesso; Produtos de restauro compatíveis.

Sumário: A maioria dos edifícios antigos portugueses possui revestimentos estucados, alguns de elevado valor histórico e/ou patrimonial, desconhecidos ao nível de materiais e técnicas de aplicação. No presente trabalho, apresenta-se uma metodologia para o seu estudo, que consiste na determinação das composições dos estuques ao longo dos vários períodos históricos, de Norte a Sul do país, com vista ao desenvolvimento de produtos de restauro compatíveis. Para assegurar essa compatibilidade, foram estabelecidos diversos critérios com base nos resultados de caracterização dos antigos e delineou-se uma extensa campanha experimental, cujo objetivo final será a escolha dos três produtos que melhor os cumprem.

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos edifícios antigos portugueses (do século XIX à década de 40 do século XX) tem revestimentos interiores de paredes e tetos em estuque, alguns de elevado valor do ponto de vista histórico, arquitetónico e estético, fazendo parte integrante do património cultural do país. Segundo uma classificação utilizada pelo Conselho da Europa, o estuque em relevo representa a segunda maior arte no contexto das artes decorativas em Portugal, apenas superada pelo azulejo [1].

No entanto, só muito recentemente, e graças a um núcleo de investigadores com génese no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), foram realizados estudos sobre estuques antigos abordando os aspetos construtivos, nomeadamente através da sua caracterização construtiva e análise de patologia [2] e levantamento dos aspetos necessários ao estabelecimento de uma metodologia de reabilitação [3]. Outros grupos de investigação têm vindo a realizar estudos de carácter histórico-artístico e de levantamento de técnicas no domínio dos estuques decorativos [1, 4-6]. Constituindo os referidos trabalhos um conjunto de elevado interesse, faltavam ainda estudos profundos que abordassem o ponto de vista dos materiais usados na sua execução. A recuperação feita com base em materiais diferentes e muitas vezes incompatíveis com os suportes e com os materiais antigos em contacto descaracteriza os edifícios, destrói o seu valor histórico e conduz frequentemente a patologia mais grave do que a que se pretende reparar.

O estudo dos estuques antigos, da sua constituição e das suas características físico-mecânicas é de grande importância, não só para a caracterização do Património cultural nacional de estuques de gesso, mas também para permitir encontrar soluções de adequabilidade cientificamente comprovada para a reabilitação desses revestimentos tradicionais, no âmbito da conservação e restauro dos edifícios antigos. São estes aspetos que constituem os objetivos do trabalho aqui apresentado.

2. METODOLOGIA

O desenvolvimento da metodologia foi pensado de forma a atingir os objetivos propostos sem perder de vista as recomendações das *Cartas do Património* [7], ou seja, chegar à formulação de produtos com base em gesso, compatíveis com os produtos antigos existentes e com os suportes onde estão aplicados, sob vários pontos de vista: funcional (o qual abrange características químicas, físicas e mecânicas), de reversibilidade de aplicação (nomeadamente ao nível das resistências mecânicas, que terão de ser inferiores às dos materiais pré-existentes), e estético.

2.1 Materiais

Para o estudo dos materiais antigos, foram recolhidas amostras de revestimentos interiores de paredes em várias zonas do País, abrangendo vários tipos de construção (habitação corrente, palácios ou solares e edifícios religiosos) e várias épocas diferenciadas, nomeadamente os períodos romano (séculos I a. C.-VI d. C.), árabe (séculos X-XIII), barroco (séculos XVII-XVIII, tendo sido no entanto englobado neste período um caso de estudo do século XVI por ser, até agora, o único dessa época) e pós-barroco (século XIX-meados século XX), num total de mais de uma centena de amostras.

Para a formulação dos produtos de restauro compatíveis foram usados produtos industriais em pó, de fabrico nacional, de natureza química idêntica aos que se encontraram na constituição dos antigos: bassanite (hemihidrato), cal aérea calcítica hidratada e um agregado fino de carbonato de cálcio, provavelmente com a função de *filler*. Foram, ainda, usados adjuvantes (retentor de água e retardador de presa) em algumas formulações.

2.2 Métodos e técnicas de análise

As amostras foram analisadas segundo a metodologia de caracterização de argamassas antigas em uso no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), desenvolvida pelos autores Santos Silva *et al.* [8].

Após a recolha, as amostras foram observadas em laboratório, onde se começou por fazer o seu registo fotográfico e uma cuidada descrição a olho nu, ou recorrendo a uma lupa binocular, de forma a detetar e registar o maior número possível de informações, tais como a presença de aditivos ou materiais fibrosos, tipo e forma dos agregados, a eventual existência de várias camadas de argamassa, entre outros. Seguiu-se a secagem das amostras em estufa ventilada, a 40 °C, durante cerca de 12 h, de forma a permitir detetar a eventual existência de compostos higroscópicos ou sais solúveis que poderiam perder a sua cristalinidade. Após a secagem, foi feita a sua separação em várias frações, para serem analisadas pelas diferentes técnicas.

Foram feitos estudos de caracterização mais aprofundados, incluindo difratometria de raios X (DRX), análise termogravimétrica com análise térmica diferencial (ATG-ATD), análise microestrutural ao microscópio eletrónico de varrimento (MEV) complementada com microanálise de raios X por dispersão em energias (AXDE) e análises de espectroscopia de infravermelho por transformadas de Fourier (FT-IR) nas amostras referentes ao período compreendido entre o século XVIII e a segunda metade do século XX:

- As frações destinadas à análise por DRX e ATG-ATD foram moídas e peneiradas até granulometria <106 µm. Sempre que as amostras apresentavam mais de uma camada distinta, este processo foi realizado individualmente, para cada camada;
- A análise mineralógica foi realizada em difratómetro Philips X'Pert, com fonte de radiação K α de cobalto produzida por uma unidade de raios X, nas seguintes condições de ensaio: varrimento entre 3° e 74° 2 θ ; velocidade de varrimento de 0,05° 2 θ /s; tensão e corrente de filamento, respetivamente, de 35 kV e 45 mA;
- Os ensaios de ATG-ATD, com vista à quantificação dos principais componentes das amostras, nomeadamente os teores de gesso e calcite, foram executados num equipamento SETARAM, entre a temperatura ambiente e 1000° C, com um incremento de temperatura de 10°C/min, em atmosfera de argon;
- Para determinar a estratigrafia dos revestimentos, uma das frações foi impregnada em vácuo com resina epóxida e depois desbastada e polida com abrasivos adequados, até se obter uma superfície plana. As superfícies polidas foram observadas em lupa binocular Olympus SZH e as imagens registadas em formato digital. Esta

análise permite a caracterização das várias camadas que constituem um revestimento, nomeadamente ao nível da espessura, textura, mineralogia e morfologia dos agregados, quando presentes, e de possíveis pigmentos;

- A microestrutura foi observada num MEV JEOL JSM-6400, e complementada com AXDE com recurso a um detetor de raios X OXFORD. Foram feitas observações tanto em superfícies polidas (modo de eletrões retro difundidos), como em superfícies de fratura (modo de eletrões secundários). Em ambos os casos as amostras foram previamente recobertas com um filme de ouro-paládio num equipamento BALTEC ou, em situações pontuais, com grafite, num evaporador de vácuo JEOL JEE-4X;

- As análises por FT-IR foram realizadas num equipamento Perkin Elmer, nas seguintes condições: varrimento de 4000cm^{-1} a 400cm^{-1} , resolução espectral de 4cm^{-1} , em modo de transmissão, com pastilha de KBr.

Foram também determinadas algumas propriedades físicas e mecânicas. No caso das amostras antigas, só foi possível fazer este tipo de ensaios nos casos em que as quantidades de amostra recolhidas o permitiram:

- Para estas amostras, os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados segundo um procedimento desenvolvido especialmente para amostras irregulares e, por vezes, também friáveis [9], em ambiente controlado ($23\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 65% de humidade relativa). Nos produtos de restauro, foi seguido o mesmo procedimento, ligeiramente adaptado;

- Para a determinação das resistências mecânicas à compressão nas amostras antigas, foi necessário regularizar a sua forma de modo a adaptá-la ao acessório da máquina de ensaio de forças, usando uma argamassa de confinamento de cimento e areia siliciosa, na proporção volumétrica de 1:3. Este método foi desenvolvido e previamente testado por alguns autores [10, 11];

- O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pela técnica de ultrassons, que se baseia na velocidade a que ondas sonoras de alta frequência atravessam os materiais, permitindo assim o cálculo de parâmetros elásticos [12];

- A permeabilidade ao vapor de água foi determinada segundo o método descrito na norma EN 1015-19 [13], sendo que, no caso das amostras antigas, os recipientes foram adaptados ao tamanho das mesmas. Este método baseia-se na medição do fluxo de vapor de água que atravessa a amostra, através da medição das variações de massa dos respetivos recipientes. Essa evaporação forçada deve-se a uma pressão diferencial que existe entre o interior do recipiente selado (HR de cerca de 100%) e o exterior (HR = 50%);

- O método usado para avaliar a higroscopicidade [14] consiste na medição das variações de massa das amostras, previamente secas a massa constante, quando colocadas a uma temperatura constante de $23 \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e humidades relativas variáveis (30, 50, 70 e 90% - condições de adsorção). As mesmas amostras são depois sujeitas aos mesmos níveis de humidade relativa por ordem inversa (condições de desadsorção);

- A determinação da estrutura porosimétrica foi realizada num equipamento da marca QUANTACHROME, usando a técnica de porosimetria de mercúrio, que se baseia na relação entre o diâmetro dos poros e a pressão necessário para enchê-los com mercúrio [15].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se de seguida os resultados relativos ao trabalho experimental já realizado, bem como a respetiva análise e discussão.

3.1 Caracterização mineralógica dos revestimentos interiores antigos portugueses: do período romano ao século XX

A primeira fase do trabalho consistiu na caracterização mineralógica preliminar por DRX de todas as amostras recolhidas, com vista a determinar o uso do gesso na composição dos revestimentos interiores antigos portugueses [16]. De forma a facilitar a apresentação e análise dos resultados obtidos, dividiram-se os mesmos por períodos históricos, estando representadas na figura 1 as regiões a que os respetivos casos de estudo pertencem.

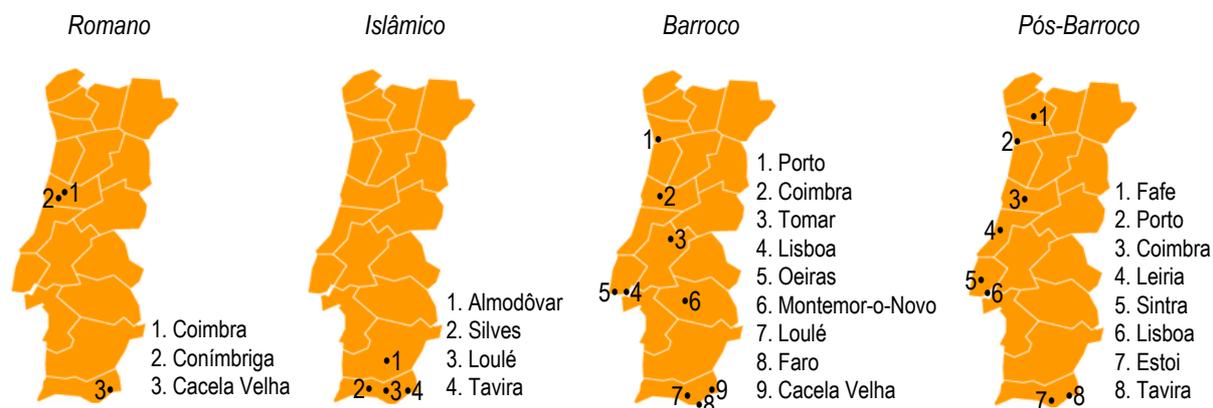


Figura 1: Localização geográfica dos casos de estudo por período histórico.

No Quadro 1, apresenta-se uma síntese dos resultados da análise mineralógica preliminar por DRX de todas as amostras recolhidas.

Quadro 1: Resultados da análise mineralógica preliminar por DRX das amostras recolhidas

Período histórico	Casos de estudo	N.º total de amostras	Principais constituintes
Romano (séculos I a. C. - VI d. C.)	3	10	Calcite, quartzo e outros (feldspatos, micas, etc.) como vestígios
Islâmico (séculos X - XIII)	4	26	Calcite, quartzo, gesso (2 amostras) e vestígios de feldspatos
Barroco (séculos XVI*-XVIII)	11	24	Calcite, gesso, vestígios de quartzo
Pós-Barroco (séculos XIX-XX)	14	45	Gesso, calcite, vestígios de quartzo

*Embora não pertença ao período barroco, incluiu-se aqui o caso de estudo da Charola do Convento de Cristo [17].

Os resultados da análise por DRX das amostras do período romano mostram que a calcite é o principal constituinte dos revestimentos interiores de paredes, o que permite concluir que estes foram executados com argamassas de cal aérea calcítica. Encontram-se também alguns agregados, na maioria das amostras, sendo predominantes os de origem quartzosa. Curiosamente, as amostras de Conímbriga pareciam ter algum gesso na sua constituição, dada a perfeição dos acabamentos (Figura 2, esquerda), mas tal acabou por não se verificar nos resultados de DRX.

No período islâmico, volta a verificar-se a predominância dos revestimentos executados com argamassas de cal, aparecendo, no entanto, em duas amostras provenientes das escavações realizadas no castelo de Silves, o gesso como composto mais abundante. Em uma dessas amostras (camada de acabamento fina e branca, Figura 2, direita), é praticamente desprezável a existência de outros materiais. Num estudo do LNEC, realizado em 2006, verificou-se que a argamassa de revestimento do *Mirhab* da antiga mesquita de Mértola e atual igreja matriz (séculos XII-XIII) é também uma argamassa de gesso [18].

No caso das amostras do período barroco, estas poderão dividir-se em dois grupos (por materiais constituintes): amostras do século XVII e amostras do século XVIII. De facto, nos casos de estudo do século XVII, a calcite e o quartzo continuam a ser os materiais predominantes, não se encontrando sequer vestígios de gesso nas amostras analisadas. Já nas amostras do século XVIII, este material começou a aparecer, sendo mesmo predominante em duas amostras da Capela do Santíssimo da Sé do Porto (Figura 3, esquerda). Verificou-se que as restantes amostras onde se detetou a sua presença pertencem a elementos relevados e/ou moldados, embora sempre em conjunto com a calcite, enquanto nas amostras de revestimentos lisos predomina este último material.

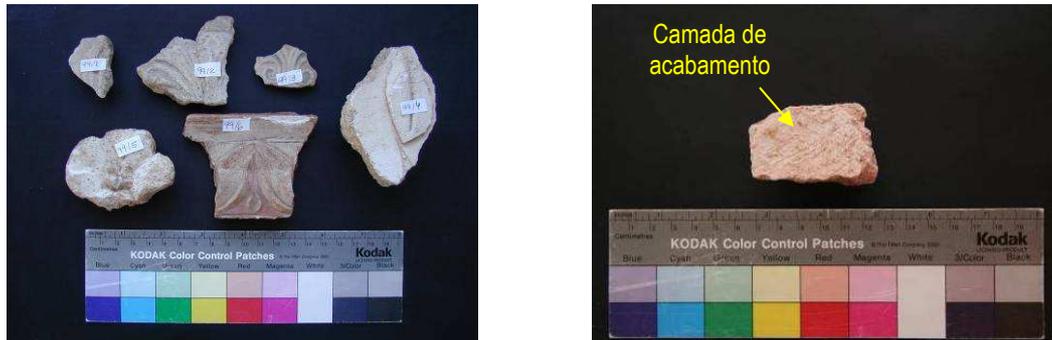


Figura 2: Amostras dos períodos romano e islâmico: Conímbriga (esquerda); Castelo de Silves (direita)

Por último, os resultados da análise por DRX das amostras do período pós-barroco permitem concluir, pela primeira vez em relação a uma determinada época, que praticamente todas as amostras têm gesso na sua composição. Apenas num caso não se encontrou este material (revestimentos lisos de um edifício do século XIX, no Porto) e em dois casos encontraram-se apenas vestígios (também em revestimentos lisos). A tendência verificada nas amostras do século XVIII para misturar gesso com cal quando da execução de revestimentos estucados, quer sejam lisos, ou moldados em obra (Figura 3, direita) é confirmada e acentuada no período pós-barroco, não só em número de casos, como também no aumento da proporção de gesso usada, sendo que, no caso dos elementos previamente moldados e só depois aplicados, o gesso é o composto predominante.



Figura 3: Amostras dos períodos barroco e pós-barroco: Capela do Santíssimo, Sé do Porto, século XVIII (esquerda); Palácio de Monserrate, Sintra, século XIX (direita)

3.2 Caracterização dos estuques de gesso portugueses: do século XVIII ao século XX

Tal como referido em 3.1, os resultados obtidos na primeira fase deste trabalho permitiram concluir que o uso do gesso nos revestimentos interiores portugueses só se destacou verdadeiramente no período compreendido entre o século XVIII e a primeira metade do século XX [16]. Foi, pois, sobre 38 amostras deste período, pertencentes a 11 casos de estudo (Quadro 2), selecionadas segundo critérios de quantidade disponível e estado de conservação, que se realizaram estudos de caracterização mais aprofundados.

3.2.1 Análise mineralógica, química e microestrutural

Começou-se por fazer uma divisão das amostras em camadas individuais, sempre que por observação visual a olho nu, ou em lupa binocular, se verificou a sua existência. Essas camadas foram depois analisadas em separado, dando origem a um total de 50 amostras.

Seguiu-se a sua caracterização mineralógica por DRX de forma mais completa, a qual confirmou serem o gesso e a calcite os principais constituintes das referidas amostras, com o quartzo a aparecer em quantidades vestigiais [19-21]. As únicas exceções foram as amostras PM1, pertencente a um rodapé do Palácio de Monserrate e PE4/2, proveniente

do Palácio de Estoi onde, para além de gesso, se detetou a presença de anidrite (sulfato de cálcio anidro). Na amostra PE4/2, friso decorativo do Salão Nobre que simula um *marmorino* cor de vinho, detetou-se ainda hematite, composto usado para pigmentar a massa de gesso [22]. O facto de se encontrar alguma anidrite nestas duas amostras, parece indicar que as mesmas foram feitas a partir de gessos calcinados a temperaturas mais elevadas (gessos multifase) [23], não tendo o ligante hidratado completamente, tal como se comprovou nas observações feitas em MEV [22].

Quadro 2: Casos de estudo dos séculos XVII-XX: identificação, localização e amostras analisadas

Região	Caso de estudo	Período histórico	Localização	N.º amostras
Norte	Sé do Porto: Capela do Santíssimo (SP)	Século XIX	Porto	3
	Palácio da Bolsa (PB)			1
	Edifício da R. da Restauração (ERR)			5
	Cine-Teatro de Fafe (CTF)	Século XX	Fafe	2
Centro	Palácio Barão Salgueiro (PBS)	Século XIX	Leiria	3
	Edifício <i>Garage</i> (EG)	Século XX		5
	Edifício Beira-Rio (EBR)			3
Centro-Sul (região de Lisboa)	Casa de Pesca do Marquês de Pombal (CP)	Século XVIII	Oeiras	3
	Palácio de Monserrate (PM)	Século XIX	Sintra	5
	Edifício da Avenida da Liberdade (EAL)	Século XX	Lisboa	1
Sul	Igreja do antigo Convento de S. Francisco (ISF)	Século XIX	Tavira	3
	Palácio de Estoi (PE)	Séculos XIX-XX	Estoi, Faro	4

As amostras foram depois submetidas a ensaios de ATG-ATD, uma técnica que permite identificar e quantificar algumas transformações químicas e físicas, a partir das variações térmicas que lhes estão associadas, tais como a desidratação do gesso (sulfato de cálcio dihidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), que ocorre no intervalo 85-250 °C e a decomposição dos carbonatos (ex.: dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ou calcite, CaCO_3), na gama 500-850 °C. A partir destes dados, calcularam-se os teores de gesso e calcite de cada amostra e os resultados de DRX foram validados [19-21].

Os resultados assim obtidos mostraram que existem três grupos principais de elementos estucados: os que foram previamente moldados e posteriormente aplicados, em que o gesso aparece praticamente como único constituinte; os decorativos, mas moldados *in situ*, em que a quantidade de cal aérea é um pouco inferior à de gesso, mas próxima de uma relação de 1:1, provavelmente para se conseguir obter um bom compromisso entre trabalhabilidade e tempos de presa (melhorados pela cal em pasta) e a reprodução de formas e obtenção de uma certa resistência inicial (conferidas pelo gesso); os revestimentos lisos, em que a proporção de cal é maior do que a de gesso, facto que também está em conformidade com os tempos mais longos de aplicação que este tipo de camadas, finas e de acabamento cuidado, exigem (Quadro 3).

Os ensaios de ATG-ATD forneceram ainda informação adicional sobre a possível existência de adições de compostos orgânicos em algumas amostras, através das perdas de massa observadas (3-4%) no intervalo de temperaturas 250-650 °C. Essas amostras, todas provenientes do Palácio de Estoi, foram posteriormente analisadas por FT-IR) tendo sido detetadas quantidades vestigiais de cera de abelha na camada superficial de acabamento da amostra PE4/2 e vestígios de óleos nas amostras PE1/2(B) e PE2/2(B) [24], ambas pertencentes à superfície mais exterior de estuques decorativos, que se encontravam pintados. Após a remoção da pintura, essas superfícies apresentavam uma cor acastanhada, indiciando a aplicação de um produto de preparação para a pintura à base de óleo. A utilização de adjuvantes orgânicos de diversas origens (animal, vegetal e, mais tarde, sintética) era uma prática bastante comum nas formulações destes materiais [25, 26].

Quadro 3: Resultados da análise mineralógica e química por DRX e ATG-DTA das camadas individualizadas

Tipo de amostra	N.º de amostras	Teor médio em gesso (%)	Teor médio em calcite (%)
Revestimentos lisos	19	38	53
Moldados <i>in situ</i>	6	56	41
Moldados em bancada	5	39-94*	2-57*
Pré-moldados	14	89	8
Camadas de regularização	3	67	28
Massas de colagem	3	48	50

*Dada a grande variabilidade de resultados obtidos é apresentado um intervalo de valores.

Na Figura 4 apresentam-se imagens da microestrutura de 3 amostras: a PE4/1, constituída maioritariamente por gesso (> 85%) tem cristais prismáticos aciculares, típicos de um gesso resultante da hidratação de um gesso hemihidratado; as PE4/2 e PM1 onde, para além de gesso hidratado, se detetou a presença de anidrite, apresentam cristais bastante diferentes: não aciculares, achatados, formando uma estrutura mais compacta e menos porosa. Estas duas amostras apresentam ainda outras diferenças em relação às restantes, nomeadamente ao nível das propriedades físicas (Quadro 3).

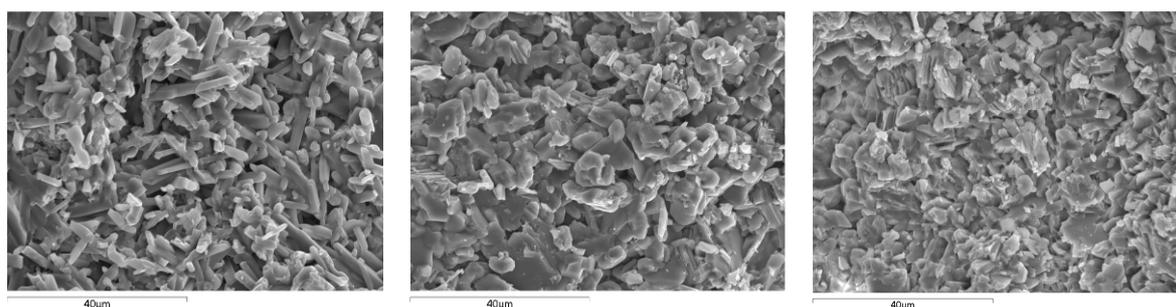


Figura 4: Imagens em MEV da microestrutura das amostras PE4/1 (esquerda), PE4/2 (centro) e PM1 (direita)

As observações em MEV, juntamente com as análises por AXDE, mostraram que algumas amostras contêm agregados finos de origem calcítica [20], podendo ser, nesses casos, a calcite detetada por DRX e quantificada por ATG-DTA, nomeadamente nos elementos pré-moldados, proveniente de impurezas da matéria-prima e não da adição propositada de cal aérea.

3.2.2 Propriedades físicas

A determinação de propriedades físicas nas amostras antigas foi muito condicionada por inúmeros fatores, nomeadamente quantidade disponível, forma, espessura, sendo os respetivos resultados considerados meramente indicativos. Por exemplo, nos revestimentos lisos, em que a camada de estuque é geralmente de baixa espessura (poucos milímetros), o módulo de elasticidade dinâmico (MED), a resistência à compressão (Rc), a capilaridade (Ccc), a higroscopicidade e a permeabilidade ao vapor de água (PVA) foram determinados juntamente com as argamassas de enchimento que estão por baixo, o que influenciou os valores obtidos, bem como a sua variabilidade. Tal será tido em conta aquando da discussão dos referidos resultados, apresentados no Quadro 4.

No que diz respeito aos resultados do módulo de elasticidade dinâmico, verifica-se que a maioria das 26 amostras analisadas apresenta valores dentro de uma gama moderada (2500-4000 MPa), sendo que apenas 5 estão abaixo desse intervalo e 2 estão muito acima: as amostras PE4/2 (9735 MPa) e PM1 (20031 MPa), nas quais, como referido, se detetou a presença de anidrite e se observou uma microestrutura muito diferente de todas as outras (*vide* 3.2.1). Nos casos em que o MED foi determinado pelo método indireto por espessura insuficiente das amostras, os valores obtidos foram influenciados pelo facto de existir uma argamassa por trás, com características diferentes do revestimento estucado, interferindo na propagação das ondas de ultrassons.

Quadro 4: Resultados das propriedades físicas determinadas

Propriedade	Revestimentos lisos	Moldados <i>in situ</i>	Moldados em bancada	Pré-moldados
MED (MPa)	1123-3908 ^a , 20031 ^b (8)	1885-4378 (5)	2115-4683, 9735 ^d (4)	2590-4312 (9)
Rc (N/mm ²)	0,8-1,4 ^c (4)	1,0-4,2 (4)	2,7 (1)	1,4-5,3 (5)
Ccc-5min (kg/m ² h ^{1/2})	0,4-10,4 ^c (7)	16,6 (1)	1,8 e 13,0 (2)	0,8-11,3 (3)
Higroscopicidade a 90% HR (%)	0,2-0,4 (4)	0,3 e 0,6 (2)	1,0 (2)	0,2-0,7 (5)
PVA (ng/m.s.Pa)	18,4-34,7 ^c , 0,4 ^b (6)	-	13,6 e 51,5 (2)	-
Porosidade total (%)	42,8-52,5 (4)	53,0 e 59,7 (2)	12,30 ^d (1)	46,0-53,7 (3)

Nota: Entre parêntesis está o número de amostras onde a propriedade foi determinada.

^a Nas amostras mais finas, foi medido à superfície (“método indireto”); ^b Amostra PM1; ^c Determinações feitas juntamente com a argamassa; ^d Amostra PE4/2.

Da mesma forma, as amostras cuja resistência à compressão foi avaliada com argamassa na face posterior apresentaram resultados abaixo da gama média (1,5-2,5 N/mm²). Já nas amostras ensaiadas individualmente, com exceção de dois casos, os resultados situaram-se bastante acima (entre 2,5 e 5,3 N/mm²). Não foi possível testar isoladamente a amostra PE4/2 à compressão devido à sua baixa espessura (5-6 mm), mas atendendo ao seu módulo de elasticidade dinâmico, seria expectável que apresentasse também uma elevada resistência. Ensaiou-se, assim, a amostra PE4 no seu conjunto (camada de enchimento - PE4/1 - e camada decorativa - PE4/2), obtendo-se um valor de 2,66 N/mm².

Os coeficientes de capilaridade apresentaram uma enorme variabilidade: tipicamente altos em cerca de metade das amostras testadas e baixos, ou muito baixos, na outra metade. Não se conseguiu estabelecer uma relação direta entre estes resultados e a porosidade total das amostras, o que pode dever-se, mais uma vez, ao facto de algumas terem sido testadas juntamente com a argamassa subjacente (caso da maior parte dos revestimentos lisos), ou ainda à eventual interferência de adições de substâncias orgânicas. Estas variáveis influenciaram também outros resultados e estarão provavelmente na origem de algumas incongruências encontradas, nomeadamente a relação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistência à compressão (que costuma ser direta e isso nem sempre se verificou), e entre estes e o coeficiente de absorção capilar e porosidade total (normalmente inversa, o que também nem sempre aconteceu).

Refiram-se, ainda, as curvas de porosimetria determinadas por intrusão de mercúrio. Estes resultados revelaram que nas amostras onde o gesso é o único, ou quase único, constituinte, praticamente não existem poros de raio inferior a 0,1 µm, situando-se a maioria em cerca de 1 µm. Pelo contrário, nas amostras onde existe também calcite, observa-se sempre uma quantidade significativa de poros com raios abaixo de 0,1 µm, encontrando-se os raios do maior número de poros no intervalo 0,3-0,7 µm. Para ilustrar o que acabou de dizer-se, apresentam-se na Figura 5 as curvas de distribuição porosimétrica de 4 amostras do Palácio de Estoi e no Quadro 5 a correspondente composição química. O comportamento higroscópico destas amostras foi também estudado e os resultados obtidos revelaram um comportamento coerente com as curvas de distribuição porosimétrica: as amostras com uma quantidade significativa de poros com raio abaixo de 0,1 µm apresentaram, no geral, maior higroscopicidade do que as amostras cujo raio dos poros se encontra acima deste valor (Figura 6).

Por último, refira-se que os valores obtidos nos ensaios de permeabilidade ao vapor de água são, no geral, elevados e encontram-se todos dentro do mesmo intervalo, sendo comparáveis com os resultados habitualmente obtidos para argamassas de cal [27, 28]. As únicas exceções são as amostras PE4 e PM1, que apresentaram valores mais baixos (o da PM1 é mesmo muito baixo).

3.3 PRODUTOS DE RESTAURO

Os produtos para restauro dos estuques antigos de gesso e cal, em estudo neste trabalho, foram concebidos tendo em conta, numa primeira fase, as composições químicas obtidas para o que se verificou serem três gru-

pos principais de elementos estucados. Para além da compatibilidade química, é também essencial que exista compatibilidade física com os pré-existentes, uma vez que os produtos de reparação nunca deverão contribuir para acelerar a sua degradação; pelo contrário, deverão servir para preservá-la e, em caso de condições adversas, funcionar como elementos sacrificiais, aptos a ser removidos em qualquer altura (regra da reversibilidade das intervenções de conservação e restauro) e novamente substituídos.

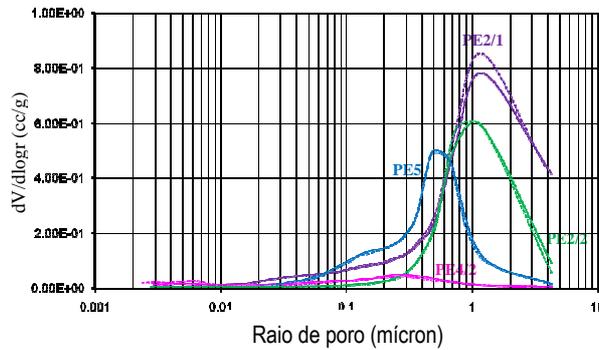


Figura 5: Curvas de distribuição porosimétrica de 4 amostras pertencentes ao Palácio de Estoi

Quadro 5: Composição química das amostras do Palácio de Estoi

Amostra	Teor em gesso (%)	Teor em calcite (%)
PE2/1	48	48
PE2/2	82	16
PE4/2	85	2
PE5	30	65

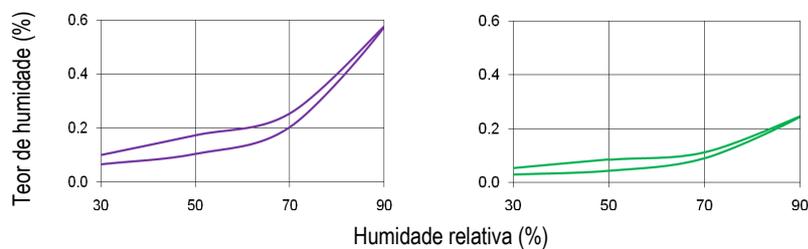


Figura 6: Curvas de higroscopicidade das amostras PE2/1 (esquerda) e PE2/2 (direita)

3.3.1 Critérios de compatibilidade

Os critérios de compatibilidade entre os estuques antigos e os produtos de restauro (Quadro 6) foram estabelecidos com base nos resultados de caracterização química e física dos primeiros, já apresentados em 3.

Quadro 6: Critérios de compatibilidade para os produtos de restauro

Produto de restauro	Revestimentos lisos (L)	Moldados <i>in situ</i> (M)	Pré-moldados (P)
MED (MPa)	800-1500	1500-2500	2500-3500
Rc (N/mm ²)	0,7-1	1-1,5	1,5-2,5
Ccc-5min (kg/m ² h ^{1/2})	5-10	10-15	5-10
PVA (ng/m.s.Pa)	> 20	> 20	> 20
Porosidade total (%)	40-55	50-60	40-55

Estes critérios poderão ser ainda sujeitos a pequenos ajustes no decurso do desenvolvimento do restante trabalho experimental.

3.3.2 Desenvolvimento e caracterização de formulações

Encontram-se atualmente em fase adiantada de teste (Quadro 7) dois produtos para revestimentos lisos (L1 e L2), dois produtos para elementos moldados *in situ* (M1 e M2) e três produtos para elementos pré-moldados (P1, P2 e P3), num total de 7 formulações.

Na sua composição, foram utilizados produtos industriais de origem nacional (hemihidrato, cal aérea calcítica hidratada em pó e *filler* calcário) e alguns adjuvantes de origem estrangeira. As proporções entre os diferentes constituintes são ponderais e as misturas com água foram feitas com base nas Normas para produtos deste tipo: EN 13279-2 [29] para aqueles cujo teor em gesso é maior ou igual a 50%; EN 1015-2 [30] para as restantes massas em que predomina a cal.

Quadro 7: Campanha de ensaios de caracterização das formulações iniciais: produtos de restauro

Propriedade	Idade (dias)
Módulo de elasticidade dinâmico (método da frequência de ressonância e método de propagação de ondas de ultrassons)	28, 90, 180, 365
Resistências à flexão e compressão	28, 90, 180, 365
Variações dimensionais	No desmolde, 7, 14, 28, 56, 90, 180
Coefficiente de absorção capilar	90
Permeabilidade ao vapor de água	90
Higroscopicidade	90
Porosidade total	90
Coefficiente de dilatação térmica	180

Com base na análise dos resultados obtidos, serão selecionadas 3 formulações finais, uma para cada tipo de aplicação, sobre as quais serão ainda realizados ensaios de durabilidade (Figura 7).

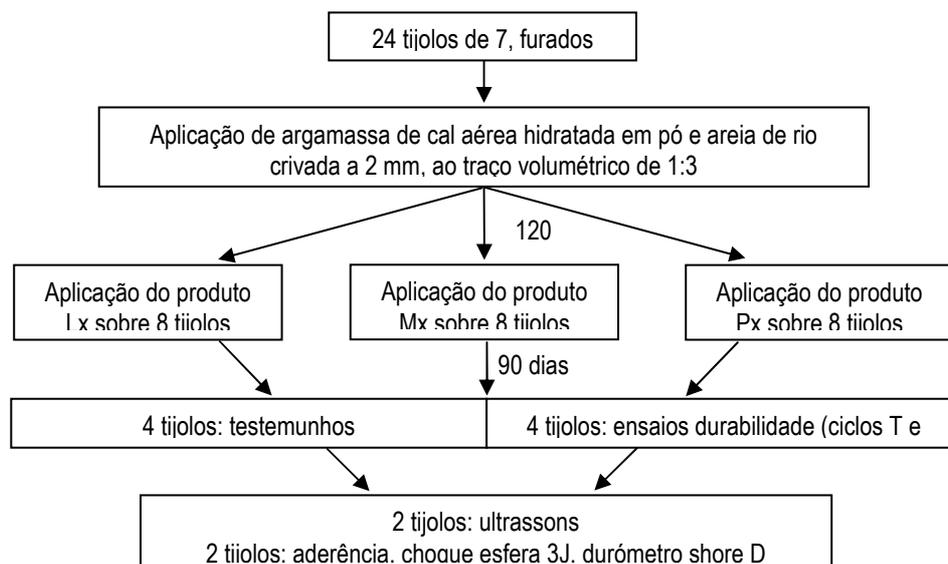


Figura 7: Representação esquemática dos ensaios de durabilidade

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na primeira fase do trabalho permitiram identificar a existência de três grupos distintos de materiais, cuja composição está diretamente relacionada com a respetiva forma de aplicação em obra e serviram de base ao estabelecimento dos parâmetros a observar pelos novos materiais de restauro, que se pretende sejam compatíveis com os antigos [31].

A partir destes dados, foi possível definir as formulações a ensaiar na primeira etapa do desenvolvimento de produtos compatíveis. Encontra-se em curso a caracterização destas formulações base, entre as quais serão selecionadas as mais adequadas para submeter a ensaios complementares de compatibilidade e durabilidade. Face aos resultados obtidos, podem ser necessários ajustamentos às formulações.

Após os ensaios laboratoriais, as novas formulações deverão ser experimentalmente aplicadas em obra. Com efeito, a sua aplicabilidade é essencial: um produto que cumpra todos os requisitos técnicos, mas seja difícil de usar, estará certamente votado ao fracasso, revelando-se inútil todo o trabalho na base do seu desenvolvimento. A obtenção de soluções que funcionem na prática é, pois, de uma importância crucial para o seu êxito no mercado.

Esta metodologia de abordagem integrada ao estudo dos revestimentos antigos e à sua conservação e restauro tem vindo a ser aplicada no LNEC a outros tipos de revestimento. O prosseguimento destes estudos, que exigem equipas multidisciplinares com capacidade de trabalhar em conjunto e complementarmente, permitirá, espera-se, valorizar este importante Património e fornecer à comunidade técnica e científica ferramentas que fundamentem intervenções conformes à ética da conservação, seguras, duráveis, viáveis e menos onerosas do que as atuais.

As linhas de investigação futuras passarão pelo aprofundamento do estudo dos estuques de cada uma das épocas de forma a identificar os aspetos mais significativos das técnicas e dos materiais usados e a possibilitar o desenvolvimento de produtos de restauro mais adaptados a cada caso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vieira, E. - *Técnicas Tradicionais de Stuccos em Revestimentos de Interior Portugueses. História e Tecnologia. Aplicação à Conservação e Restauro*. Valência: Universidade Politécnica de Valência, 2008. Tese de Doutoramento
- [2] Ribeiro, P. S. - *Estuques Antigos: Caracterização Construtiva e Análise Patológica*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2000. Tese de Mestrado em Construção.
- [3] Cotrim, H. - *Reabilitação de Estuques Antigos*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2004. Tese de Mestrado em Construção.
- [4] Vieira, E. - *Técnicas Tradicionais de Fingidos e de Estuques no Norte de Portugal. Contributos para o seu Estudo e Conservação*. Évora: Universidade de Évora, 2002. Tese de Mestrado em Recuperação do Património Arquitetónico e Paisagístico.
- [5] Silva, H. - *Giovanni Grossi e a Evolução dos Estuques Decorativos em Portugal*. Lisboa: Universidade de Lisboa, 2005. Tese de Mestrado em Arte, Património e Restauro. 2 Volumes.
- [6] Leite, M. S. J. - *A Oficina Baganha e os Estuques no Porto no Século XX*. Porto: Universidade Católica Portuguesa, 2007. Tese de Mestrado em Artes Decorativas.
- [7] Cartas e Convenções Internacionais sobre Património. [Consultado a 1 de Maio de 2012]. Disponível em www.igespar.pt
- [8] Santos Silva, A. [et al.] - *Characterization of roman mortars from the archaeological site of Tróia (Portugal)*. Materials Science Forum. 516 (2005) 1643-1647.
- [9] Veiga, M. R. [et al.] - *Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results*. 13th International Brick and Block Masonry Conference. Amsterdam: July 2004.
- [10] Válek, J., Veiga, R. - *Characterisation of mechanical properties of historic mortars - Testing of irregular samples*. Advances in Architecture Series. 20 (2005) 365-374.
- [11] Magalhães, A. C., Veiga, M. R. - *Physical and mechanical characterisation of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*. Materiales de Construcción. 59 (295): 61-77 doi: 10.3989/mc.2009.41907.
- [12] NP EN 12504-4. *Ensaíos do Betão nas Estruturas - Parte 4: Determinação da Velocidade de Propagação dos Ultrasons*. Lisboa: IPQ. 18 p.
- [13] EN 1015-19 - *Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars*. CEN: Comité Euripéen de Normalisation, 1998.
- [14] Magalhães A. C., Veiga M. R. - *Caracterização da higroscopicidade de argamassas com base em cal*. Relatório

- LNEC 201/2007 - NRI. Lisboa: LNEC, junho 2007, 42 p.
- [15] ASTM D4404-84 - *Standard Test Method for Determination of Pore Volume and Pore Volume Distribution of Soil and Rock by Mercury Intrusion Porosimetry*. 2010.
- [16] Freire, T. [et al.] - *Caracterização de Revestimentos Interiores Antigos Portugueses*. 3º Congresso Português de Argamassas de Construção. Lisboa: LNEC, 2010. Artigo 11_2010, 14 p.
- [17] Freire, T., Santos Silva, A. - *Caracterização mineralógica de painéis de estuque da charola do Convento de Cristo, em Tomar*. Nota Técnica 3/2012 – DED/NRI. Lisboa: LNEC, abril 2012, 9 p.
- [18] Adriano, P., Santos Silva, A. - *Caracterização de argamassas do período romano e árabe da vila de Mértola*. Relatório LNEC 200/2006 - NMM. Lisboa: LNEC, julho de 2006, 59 p.
- [19] Freire, T. [et al.] - *Characterization of Portuguese historical gypsum mortars*. 1st Historical Mortars Conference, HMC08. Lisboa, Portugal: LNEC, 24-26 setembro 2008, T_I_54_HMC008 (disponível em CD).
- [20] Freire, T. [et al.] - *Characterization of Portuguese historical gypsum mortars: a comparison between two case studies*. Materials Science Forum, 636-637, 1258-1265. Online desde 2010/jan/12 em <http://www.scientific.net>
- [21] Freire, T. [et al.] - *Characterization of decorative Portuguese gypsum plasters from the XIX-XX centuries: the case of the Bolsa Palace in Oporto*. 2nd Historical Mortars Conference and Final Workshop of RILEM TC 203-RHM, HMC2010. Praga, República Checa: 22-24 setembro 2010. p. 165-174.
- [22] Freire, T. [et al.] - *Characterization of a 19th century gypsum plaster piece: the role of microscopy*. 12th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials. Dortmund, Alemanha: 15-19 setembro 2009. p. 416-427.
- [23] Wirsching, F. - *Calcium Sulfate*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Copyright © 2005 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005, 33 p.
- [24] Candeias, A., Valadas, S. - *Análise de espectros de infravermelhos de amostras de gessos*. Relatório HERC/02/010. Évora: Centro Hércules da Universidade de Évora, Maio 2010.
- [25] Turco, T. - *Il gesso, lavorazione, trasformazione, impieghi*. Seconda edizione ampliata. Itália: Ulrico Hoepli Editore, Milano, 1990, 609 p.
- [26] Arcolao, C. - *Le ricette del restauro - Malte, intonaci, stucchi dal XV al XIX secolo*. 2nd edition, Marsilio Editori, Venezia, 2001, 284 p.
- [27] Margalha, M. G. - *Ligantes aéreos minerais. Processos de extinção e o facto tempo na sua qualidade*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2010. Tese de Doutoramento.
- [28] Veiga, M. R. [et al.] - *Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings*. International Journal of Architectural Heritage. 4(2) (2010) 177-195.
- [29] EN 13279-2 - *Gypsum binders and gypsum plasters - Part 2: Test methods*. CEN: Comité Européen de Normalisation, 2004.
- [30] EN 1015-2 - *Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars*. CEN: Comité Européen de Normalisation, 1998.
- [31] Freire, T [et al.] - *Improving the Durability of Portuguese Historical Gypsum Plasters Using Compatible Restoration Products*. In 12th International Conference on Durability of Building Materials and Components, 12-15 April 2011, U. Porto, Vasco Peixoto Freitas, Helena Corvacho, Michael Lacasse (editores.), ISBN 978-972-752-132-6, vol. II, pp. 905-913.