DISCUSSÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA INTERFACE DE ARGAMASSAS E SUPORTES

Tema: Métodos de ensaio
Grupo[1]: 1

ISABEL TORRES[1], INÊS FLORES-COLEN [2], DORA SILVEIRA[3]

[1]Profª , Universidade de Coimbra, ADAI – LAETA, Itecons, itorres@dec.uc.pt
[2]Profª , CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa ines.flores.colen@tecnico.ulisboa.pt
[3]Investigadora PosDoc, Itecons, dora.silveira@itecons.uc.pt

RESUMO
A quantificação das características fundamentais das argamassas é executada em laboratório sobre provetes executados para o efeito, mas as suas características de desempenho em serviço são distintas. Ao proceder-se à aplicação das argamassas sobre um suporte, o seu comportamento vai ser influenciado por diversos fatores, para se poder analisar a sua influência no comportamento em serviço das argamassas pode recorrer-se a diversas técnicas de ensaio, quer in-situ, quer laboratoriais. O que se pretende apresentar neste artigo é uma síntese comparativa das diversas técnicas de ensaio disponíveis para proceder ao estudo da influência de alguns fatores nas argamassas em serviço.

Palavras-chave: interface argamassa-suporte, análise interface, métodos de análise

DISCUSSION OF METHODS OF ASSESSMENT OF THE MORTAR AND SUPPORT INTERFACE

ABSTRACT
The quantification of the fundamental characteristics of the mortars is performed in laboratory on specimens made for this purpose, but their in-service performance characteristics are different. When applying mortars to a support, its behavior will be influenced by several factors, in order to be able to analyze its influence on the in-service behavior of mortars, a number of in-situ and laboratory test techniques can be used. What is intended to present in this paper is a comparative synthesis of the different test techniques available to study the influence of some factors on the mortars in service.
Key-words: interface mortar-support, analysis interface, analysis methods

1. INTRODUÇÃO

A interface argamassa/suporte das argamassas em serviço é condicionada por diversos fatores e está diretamente relacionada com a adesão entre ambos os elementos. A aderência ao suporte é uma característica fundamental pois dela depende a capacidade de impermeabilização, durabilidade e resistência à fendilhação das argamassas aplicadas.

Quando se procede à aplicação de uma argamassa sobre um suporte, dá-se a formação de uma interface e, a partir desse momento, ocorrem interações entre ambas as superfícies, ainda com a argamassa no seu estado plástico, que vão ocorrer ao longo do tempo devido à cinética de hidratação e à absorção do substrato.

Segundo Wu [(1)], "a aderência é o estado no qual duas fases se mantêm unidas por contato interfacial, de forma que forças mecânicas ou trabalhos possam ser transferidos através da interface. O contato interfacial é regido pelas forças de Van Der Waals, ligações químicas ou atração eletrostática. A resistência mecânica do sistema é determinada pelas forças interfaciais e propriedades mecânicas da interface e das duas fases".

Na formação dos sistemas cimentícios multifásicos (como é o caso) pode dizer-se que se observa a formação de uma zona de transição em que estão envolvidos dois tipos de mecanismos: aderência química e aderência mecânica [(1)]. A aderência química pode ser definida como "a capacidade de criar ligações químicas fortes ou físicas fracas" [(2)], e resulta das forças de atração moleculares entre as duas fases. Existem ligações primárias e secundárias, sendo as segundas as principais responsáveis pela aderência e devidas às forças de Van der Waals que se desenvolvem entre a humidade da alvenaria e os produtos da hidratação do cimento. A ocorrência de ligações químicas na interface tem sido evidenciada pela observação microscópica e raios X de alterações morfológicas dos produtos hidratados da interface [(1)]. Aderência mecânica pode ser definida como "a capacidade de a argamassa penetrar no suporte através da porosidade e da rugosidade do mesmo" [(2)]. Nas superfícies lisas e sem poros o que se verifica é uma aderência essencialmente química pois não se verifica qualquer penetração da argamassa no suporte. Por outro lado, se o suporte tiver porosidade aberta e/ou rugosidade que permitam essa penetração, ocorre uma aderência mecânica. Este tem sido considerado o principal mecanismo de aderência [(3)] entre a argamassa e alvenaria e pode ser descrito como um sistema complexo envolvendo o transporte de fluidos e de finos para zona de transição, a que se segue a hidratação dos materiais cimentícios.

Quando se dá o contato da argamassa, no seu estado plástico, com o suporte poroso, parte da água de amassamento contendo dissolvidos componentes do aglomerante é absorvida pelo suporte e penetra nos seus poros e/ou saliências. Já no interior dos poros do suporte vão ocorrer os fenômenos de hidratação do ligante. Esta interação pode ser descrita pela "Teoria dos poros ativos" [(4)(5)] em que o sistema de poros do suporte é considerado como um conjunto de tubos cilíndricos paralelos, inicialmente vazios, e perpendiculares à superfície. O mesmo acontecendo com o sistema de poros da argamassa, com a diferença que estes não estão

vazios fazendo com que, inicialmente o fluxo de água se dê da argamassa para o suporte. O raio dos tubos da argamassa vai diminuindo à medida que progride a hidratação dos aglomerados até um ponto em que estes passam a ser menores que os tubos capilares do suporte e o fluxo do movimento de água inverte-se. A sução, a quantidade de poros capilares e a estrutura dos mesmos vão influenciar a aderência da argamassa [4][5].

2. POTENCIAIS FATORES QUE INFLUENCIAM

Como já referido torna-se importante o conhecimento fiável do comportamento da argamassa em serviço. Para isso é essencial o conhecimento dos materiais, das características dos suportes, e fundamentalmente o conhecimento da interação estabelecida entre a argamassa e o suporte. A argamassa ao entrar em contato com o suporte vai sofrer alterações nas suas propriedades devido à sucção do suporte e aos mecanismos responsáveis pela sua aderência. São diversos os fatores que influenciam a adesão da argamassa ao suporte. Diversas investigações foram já desenvolvidas no sentido de identificar estes fatores [6][7][8][9][10][11]. Alguns estão relacionados com a composição e características da argamassa, outros com o tipo de suporte, e outros ainda são relacionados com fatores externos quer à argamassa quer ao suporte, como por exemplo o método de aplicação e as condições ambientais.

Entre os fatores relacionados com a composição da argamassa pode referir-se o teor de cimento; a finura do cimento e outras adições; o teor de cal; a composição da cal; o teor de areia; a granulometria da areia; a forma das partículas de areia; a presença de outras adições. Se se aumentar o teor de cimento, introduzir cimento com maior percentagem de finos, substituir parte da areia por pó de cerâmica e parte do cimento por sílica de fumo, introduzir uma baixa percentagem de cal hidratada em argamassa de cimento/cal, introduzir areia com elevado teor de argila, etc., a aderência entre a argamassa e o suporte aumentará [11].

Quanto aos fatores relacionados com as características das argamassas tem-se a sua resistência mecânica; consistência; capacidade de retenção de água; o numero de camadas com que é aplicada, a sua espessura e idade. Para aumentar a aderência devem usar-se argamassas com resistência mecânica mais alta, mais fluidas, com capacidade de retenção de água mais elevada, aplicar pelo menos duas camadas de argamassa, evitar espessuras acima de 2.5 cm e impor uma cura úmida de forma a evitar a fissuração [11].

No que respeita às características do suporte, as que podem influenciar a aderência da argamassa são: textura superficial, porosidade e taxa de absorção de água inicial, teor de humidade inicial, limpeza, eventuais tratamentos superficiais. Usando suportes mais rugosos e com uma taxa de absorção inicial adequada, molhando a superfície do suporte antes da aplicação da argamassa e removendo a sujidade eventualmente existente, a aderência ao suporte aumenta [11].

Finalmente, existem fatores externos que podem influenciar a aderência, como por exemplo, a forma de aplicação, o tipo de cura e as condições ambientais. Para aumentara aderência deve recorrer-se a projeção mecânica, criar condições de cura úmidas e evitar aplicação da argamassa em condições muito secas, muito quentes e muito úmidas [(11)].

3. METODOLOGIAS DE ENSAIO

3.1. Introdução

O estudo da interface e das suas características pode ser levado a cabo através de técnicas laboratoriais ou de técnicas in-situ. As primeiras têm a limitação de não analisarem as argamassas em serviço, mas têm a vantagem de fornecer uma análise mais detalhada e rigorosa. Pode-se então dizer que estas técnicas se completam permitindo uma análise mais completa. Apresentam-se, se seguida, algumas técnicas de ensaio que podem ser usadas. Começa-se por abordar algumas técnicas laboratoriais como MEV, EDX e o SEM. E depois algumas técnicas mais usadas in-situ como o ensaio *pull-off*, o esclerómetro pendular, ultrassons e tubo de *Karsten*.

3.2. Técnicas laboratoriais

A complexidade da estrutura interna das argamassas e em particular da interface faz com que a sua análise se torne bastante complexa, necessitando da utilização de técnicas avançadas de análise. A escolha das técnicas a utilizar deve ser cuidada e deve ter em conta todos os parâmetros a avaliar e qual o grau de detalhe pretendido.

As técnicas laboratoriais permitem dois tipos de análises distintas: uma análise microestrutural e uma análise macroestrutural. Embora não haja um consenso na definição destes dois conceitos, nesta trabalho considera-se a definição de microestrutura como sendo "todas as caraterísticas estruturais internas que afetam as propriedades do material" [(12)(13)], o que quer dizer numa escala abaixo de 1mm.

A distinção entre uma análise microestrutural e uma análise macroestrutural dá-se ao nível das técnicas usadas e da escala. Na primeira as informações fornecidas são informações gerais com ampliações reduzidas (da ordem do milímetro) e na segunda as técnicas usadas permitem uma elevada descriminação com ampliações elevadas (escala nano milimétrica). Para uma análise macroestrutural recorre-se a equipamentos como registos fotográficos ou lupa binocular [(13)] e para uma análise microestrutural há já necessidade de recorrer a equipamentos mais especializados com Micro-CT (Microtomografia computorizada de raios-x) e MEV (Microscópio electrónico de varrimento) [(13)]. São dois tipos de análises importantes para se caracterizar a interface suporte-argamassa, que se complementam e que têm sido usadas por diversos autores com esse fim.

Voss [15], que foi o pioneiro na análise microscópica da interface, com um MEV com detetor de Raios X procedeu à análise da microestrutura da interface, tendo encontrado, junto ao tijolo, uma camada supostamente formada por cálcio.

Usando a mesma técnica, Chase [16] conclui que a adesão entre o tijolo e a argamassas se deve ao crescimento de cristais de silicato de cálcio hidratado e entrelaçamento das suas fibras no tijolo e afirma "não haver uma penetração significativa desses produtos hidratados no interior dos poros do suporte, existindo apenas a deposição da pasta na superfície do tijolo" [13].

Com o MEV com imagens de elétrons secundários e elétrons retroespelhados com EDXA (análise de energia dispersiva com raios-x), Lawrence e Cao [17] concluíram que o grau de penetraçõda pasta no suporte é maior na zona de poros de menor diâmetro, que exercem maior sução.

Outra teoria é defendida por investigadores do *Institut National de Sciences Appliquées de Toulouse*, que recorrendo ao MEV com difratometria de Raios X, e com termogravimetria, afirmam que a zona de contato da pasta de cimento o suporte cerâmico é maioritariamente etringite. Outros autores utilizando a mesma técnica de análise tiraram conclusões semelhantes.

Carasek, et al, com MEV munido de EDXA observaram a microestrutura da interface suporte/argamassa, visando avaliar a penetração da pasta no suporte, nomeadamente a sua profundidade e e a composição química dos elementos existentes na interface.

3.3. Técnicas in-situ

Ensaio pull-off

O ensaio *pull-off* é descrito na norma EN 1015-12 [18] e consiste em extrair, com um dispositivo de arrancamento, uma peça metálica colada ao revestimento com uma resina epóxi. A fim de garantir que o arrancamento ocorre somente sob o disco, corta-se previamente um sulco ao longo do seu perímetro, com profundidade superior à espessura do revestimento. A razão entre a força necessária para extrair o disco e a respetiva secção transversal corresponde à resistência adesiva.

Este ensaio é muito usado devido às suas várias vantagens. De fato, o equipamento não é demasiado caro e os resultados são fiáveis e fáceis de interpretar [19]. No entanto, esta técnica tem também algumas desvantagens [19][20], tais como: o ensaio realiza-se em várias fases (preparação e colagem da peça de ensaio; realização do ensaio; reparação dos locais testados, se necessário); é uma técnica destrutiva; recomenda-se pelo menos duas pessoas para uma adequada execução do ensaio; obtém-se habitualmente uma dispersão significativa nos resultados.

Esclerómetro pendular

ISSN 1984-8757

O esclerómetro é um aparelho utilizado para medir a dureza superficial de um material. O seu funcionamento baseia-se no método do ressalto, que consiste no lançamento de uma massa contra a superfície em estudo e medição do seu retorno, que resulta num valor numérico que se designa índice esclerométrico.

Existem vários tipos de esclerómetros, de entre os esclerómetros pendulares, indicados para materiais de dureza inferior, como as argamassas de revestimento. Os principais fins para os quais estes aparelhos podem ser usados são [21][22]: estimativa da resistência do material; comparação da qualidade de diferentes materiais; avaliação qualitativa da homogeneidade e condições de aderência do reboco; extrapolação do desempenho mecânico do material. De fato, dado que os resultados obtidos traduzem a dureza superficial do material, é possível inferir quanto à sua resistência. A perda de aderência também pode ser avaliada, já que a falta de ligação ao suporte poderá refletir-se numa diminuição do ressalto.

Esta técnica de ensaio apresenta várias vantagens, mas possui também algumas limitações. Este é um ensaio económico, semi-destrutivo, simples e rápido de executar e realizado com um aparelho fácil de transportar. Contudo, as curvas fornecidas pelos fabricantes com a relação entre o índice esclerométrico e a resistência do material nem sempre conduzem a resultados coerentes [22].

Ultrassons

O ensaio dos ultrassons é realizado através da colocação de dois transdutores em contato com a superfície do material a analisar. Um transdutor (transmissor) emite um impulso ultrassónico que atravessa o material e é recebido pelo outro transdutor (recetor). O tempo gasto neste percurso é medido, sendo assim possível calcular a velocidade de propagação das ondas elásticas. Através da determinação desta velocidade, que depende das propriedades elásticas do meio percorrido [23], é possível avaliar o comportamento mecânico dos materiais.

Aplicada aos revestimentos de paredes, a técnica dos ultrassons é usada essencialmente para [22][24][25]: estimar a resistência do material; caracterizar o estado de degradação; observar anomalias e heterogeneidades; detetar fissuras e juntas; avaliar as propriedades mecânicas. A estimativa da resistência baseia-se no princípio de que materiais mais compactos são mais resistentes e apresentam velocidades de propagação mais elevadas. Uma vez que a presença de anomalias provoca alterações na velocidade de propagação, pode-se inferir também quanto ao estado de degradação do material, sendo possível, por exemplo, detetar perdas de aderência. A sua utilização é simples, fácil e rápida [26]. Contudo, nem sempre é possível estabelecer uma relação inequívoca entre a velocidade de propagação das ondas e as propriedades mecânicas dos materiais [27]. Possui, portanto, um carácter qualitativo.

Tubo de Karsten

Para avaliar a capacidade de os rebocos resistirem à penetração da água líquida, pode-se recorrer ao método do tubo de *Karsten* (ou método do cachimbo). Este método avalia a

capacidade de absorção de água sob baixa pressão de um material, através da medição da quantidade de água absorvida, em volume, pela superfície do material, numa determinada área e durante um período de tempo estabelecido.

Os tubos de *Karsten* são pequenos tubos de vidro, em forma de cachimbo, graduados com cerca de 4 cm^3 de capacidade, e fixados à superfície a ensaiar com recurso a um material como o mástique. O ensaio consiste na medição do abaixamento do nível de água em função do tempo e encontra-se descrito na ficha de ensaio FE Pa 39.1 do LNEC [28] elaborada com base no teste nº.II.4 do RILEM [29].

Esta técnica é utilizada principalmente para [22][28][30]: determinação da permeabilidade à água líquida de revestimentos; estimação do grau de degradação de revestimentos (através de comparações e analisando as alterações verificadas pela absorção de água); avaliação da eficácia de tratamentos hidrófugos; investigação de problemas de humidade em edifícios.

As principais vantagens desta técnica são [22]: simplicidade e rapidez de execução; custos reduzidos; baixo grau de especialização técnica necessário; dispensa de fonte de energia externa e de recolha de amostras. No que diz respeito às suas limitações, destacam-se [22]: necessidade de homogeneidade do revestimento; dependência das condições atmosféricas; avaliação do comportamento do conjunto revestimento-suporte; controlo necessário na aplicação do material de fixação.

4. CONCLUSÕES

A adesão argamassa-suporte é um mecanismo complexo que depende de vários fatores, como fatores relacionados à composição da argamassa, propriedades do sistema, características do suporte e ainda fatores externos relacionados com a aplicação das argamassas e condições ambientais. O desempenho real das argamassas de revestimento é influenciado por vários fatores em serviço, muitos deles relacionados com a sua aplicação e com as características do suporte. O desempenho em serviço das argamassas está muito relacionado com as características da interface que se forma entre a argamassa e o suporte. Existem já diversos estudos que analisam, recorrendo a diversas técnicas, as características da interface. O que não existe ainda e se pretende desenvolver com esta investigação são estudos que avaliem a argamassa após aplicação e que relacionem as suas características com as características das argamassas endurecidas moldes laboratoriais e com dimensões de acordo com as normas.

5. AGRADECIMENTOS

O trabalho apresentado está enquadrado no projeto IF MORTAR (POCI-01-0145-FEDER-032223), inserido no programa Portugal 2020, financiado pelo FEDER através do programa POCI. Os autores agradecem ao CERIS/IST.

6. REFERÊNCIAS

1. Wu, S., **Polymer interface and adhesion**, New York: M. Dekker, 1982.

2. Pierre, M. N., **Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de : l'adhérence d'un mortier**, Tese de Doutoramento, Universdade de Toulouse, Toulouse, 2008.

3. Carvalho Jr, A.N., **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**, Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

4. Détriché, C. H.; Gallias, J. L.; Grandet, J.; Maso, J. C., **Influence des paramètres de mise em ouvre et de composition sur le comportement des mortiers d´enduit**. Matériaux et Constructions, v.18, n. 105, p. 193-200, 1985.

5. Dupin, I; Détriché, C. H.; Maso, J. C., **Accrochage direct d´un enduit sur um isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d´um procédé d´isolation par l´exterieur**, Materiaux et Constructions, v.21, p. 370-378, 1988.

6. Chew M. **Factors affecting ceramic tile adhesion for external cladding** J Constr Build Mater 1999; 13:293–6.

7. Tan K, Chan B, Guan L. **Ultrasonic evaluation of cement adhesion in wall tiles** J Cem Concr Compos 1996; 18:119–24.

8. Guan W, Alum J, Liu ZJ, Yang T. **Performance of external tilled-wall systems under tropical weathering** J Perform Constr Facil 1997;11(1):24–34.

9. Guan W, Alum J, Zhao ZY, Zhang WL, Liu ZJ. **Impact of workmanship on performance of tiled-wall systems** J Perform Const Facil 1997;11(2):82–9.

10. Silvestre JD, de Brito J. **Ceramic tiling in building façades: inspection and pathological characterization using an expert system** Constr Build Mater, 2011;25(4):1560–71

11. Silva CM, Flores-Colen I, Gaspar S, **Numerical analysis of renders' adhesion using an interface model**, Constr Build Mater, 38 (2013) 292–305

12. G. Gottstein, **What is a microstructure and why is it interesting?** 1st International Workshop on Software Solutions for ICME, Institute of Physical Metallurgy and Metal Physics, pp. 24–27,

13. M. Gominho, M. F. C. Pereira, A. Maurício, I. Flores-Colen **Análise microestrutural de argamassas térmicas**, II Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento, Coimbra 16 e 17 junho 2016

14. V. Silva & J. Liborio, **Estudo da microestrutura da interface argamassa/substractro de concreto através da microscopia electronica de varredura (MEV),** in Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2002, pp. 101-107.

15. Voss, W. **Permeability of brick masonry walls: an hypothesis** American Society for Testing Materials, Proceedings. Philadelphia, vol. 33, part 2, pp. 670-691.

16. Chase, G. (1984) - **Investigation of interface between brick and mortar**. TMS Journal. vol. 3, nº 2.

17. Lawrence, S.; Cao, H. (1988) - **Microstructure of the interface between brick and mortar**. International brick and block masonry conference, 8th, Dublin: Proceedings. London, pp. 194-204.

18. CEN. Methods of test for mortar for masonry – Part 12: determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. EN 1015-12, Belgium; 2000.

19. Flores-Colen I, de Brito J, Freitas VP. **Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades**. J Build Appraisal 2006;2(2):142–56.

20. Flores-Colen I, de Brito J, Branco FA. **In situ adherence evaluation of coating materials.** Exp Tech 2009;33(3):51–60.

21. Botelho, P. C. (2003) - **Argamassas tradicionais em suportes de alvenaria antiga: comportamento em termos de aderência e durabilidade.** Dissertação de Mestrado, Lisboa, Instituto Superior Técnico, 183 p.

22. Flores-Colen, I. (2009) - **Metodologia de Avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva,** Dissertação para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Lisboa, Instituto Superior Técnico, Junho, 487 p

23. Gomes, A. (1995) – **Caracterização de argamassas tradicionais utilizadas nos revestimentos exteriores dos edifícios**. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Lisboa: Instituto Superior Técnico, 269 p.

24. Magalhães, A. C.; Costa, D.; Veiga, M. R. (2003) - **Diagnóstico de anomalias de revestimentos de paredes com técnicas de ensaio in situ. Avaliação da resistência mecânica.** In: 3º ENCORE – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, pp. 419-427.

25. Silva, V. (2004); **Manual de inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios**. Lisboa: IST Press, 437 p.

26. Flores-Colen, I.; Brito, J. de; Freitas, V. (2006) – **Técnicas de ensaio in-situ para apoio à manutenção predictiva de rebocos de fachada.** In: PATORREB 2006 - 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, Porto: FEUP, 20-21 de Março, pp. 701-710.

27. Proverbio, E.; Venturi, V. (2005) – **Reliability of non-destructive tests for on site concrete strength assessment.** In: 10 DBMC - 10th International Conference on Durability of Materials and Components, Lyon, 17-20 Abril, CD-Rom.

28. LNEC (2002a) - **Revestimento de paredes. Ensaio de absorção de água sob baixa pressão.** Ficha de ensaio FE Pa 39.1. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

29. RILEM (1980a) - **Water absorption under low pressure. Pipe method**. Test Nº II.4, Tentative Recommendations, Paris.

30. LNEC (2002b) - **Ensaios in situ sobre revestimentos de paredes para edifícios antigos. Ensaios preliminares com tubos de Carsten**. Relatório 238/02 - NCCt. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.