



## EVOLUÇÃO DAS REAÇÕES EM ARGAMASSAS DE CAL AÉREA E METACAULINO – PROJETO METACAL

André Gameiro <sup>1</sup>, António Santos Silva <sup>2</sup>, Maria do Rosário Veiga <sup>3</sup>, Ana Velosa <sup>4</sup>  
e Paulina Faria <sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento dos Materiais, Av. do Brasil, 101, 1700 Lisboa,  
[agameiro@lnec.pt](mailto:agameiro@lnec.pt), [ssilva@lnec.pt](mailto:ssilva@lnec.pt), [rveiga@lnec.pt](mailto:rveiga@lnec.pt)

<sup>4</sup> Departamento de Engenharia Civil, Geobiotec, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, 3810-193  
Aveiro, Portugal, [avelosa@ua.pt](mailto:avelosa@ua.pt)

<sup>5</sup> Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516  
Caparica, Portugal, [paulina.faria@fct.unl.pt](mailto:paulina.faria@fct.unl.pt)

**Palavras-chave:** Argamassas, Cal aérea, Metacaulino, Reparação e restauro de revestimentos

**Sumário:** Apresentam-se os resultados mineralógicos e mecânicos da caracterização de pastas e argamassas de cal e metacaulino. Este trabalho insere-se no âmbito do projeto METACAL, cujo principal objetivo consiste no desenvolvimento de argamassas compatíveis, à base de cal aérea e metacaulino, para a conservação, reparação e restauro de revestimentos de paredes com caráter histórico.

### 1. INTRODUÇÃO

A importância de encontrar e formular argamassas compatíveis com durabilidade e resistências mecânicas adequadas é um dos grandes desafios presentes no âmbito da conservação e restauro de edifícios de carácter histórico. A utilização de materiais pozolânicos em argamassas de cal aérea tem sido observada ao longo dos tempos, tendo como finalidade aumentar a resistência mecânica assim como a durabilidade dessas argamassas. O termo pozolana surge associado aos materiais que, apesar não terem por si só propriedades aglomerantes hidráulicas, são capazes de se combinar com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente e em presença de água, e formar compostos semelhantes aos originados na hidratação dos constituintes de cimento de Portland. Consistem essencialmente em óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e outros óxidos em pequena proporção, como o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) [NP 4220]. Os compostos obtidos da reação pozolânica necessitam ser compatíveis com os materiais presentes nos edifícios de carácter histórico. O conhecimento da composição química e estrutural destes compostos, aliado à sua estabilidade, pode ser determinante na elaboração das referidas argamassas. O interesse na utilização de pozolanas em revestimentos de paredes prende-se com a necessidade de se usarem materiais que possam ser compatíveis com os preexistentes, além de assegurar durabilidade e resistência mecânica quando aplicados em revestimentos de carácter histórico. Pozolanas altamente reativas, como é o caso do metacaulino, têm demonstrado ser duradouras e compatíveis com estruturas de carácter histórico. Uma vez que em Portugal não temos pozolanas naturais disponíveis (com exceção dos Açores) e pelo contrário dispomos da matéria-prima do metacaulino (caulino) em grandes quantidades, é importante otimizar este recurso. Assim, as argamassas de cal e metacaulino devem ser estudadas em termos da sua formulação e da prescrição das condições de aplicação e cura de modo a poderem ser usadas no restauro de revestimentos históricos, evitando o uso de cimento, que tem demonstrado maus resultados. Esta comunicação apresenta os resultados de caracterização de pastas e argamassas de cal aérea e metacaulino (cal/MK), trabalho que se insere no projeto METACAL, com cofinanciamento da FCT, e que tem como principais objetivos o desenvolvimento de metacaulino nacional e a sua aplicação na formulação de argamassas à base de cal aérea.

### 2. MATERIAIS E METODOS

Numa primeira parte deste projeto avaliou-se a cinética da reação pozolânica em pastas de hidróxido de cálcio com metacaulino para diferentes razões molares cal/MK. Complementarmente avaliou-se o tipo de compostos

formados na reação e aferiu-se da sua estabilidade ao longo do tempo. As pastas com diferentes teores de substituição de hidróxido de cálcio por metacaulino (5, 9, 17, 25, 33, 38 a 50%, em massa), foram curadas a  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  e humidade relativa  $90\%\pm 5\%$ , e analisadas até 1 ano de idade por intermédio das técnicas de ATG-ATD e DRX. Numa segunda fase, analisaram-se as características de argamassas de cal aérea/MK em termos do desenvolvimento da reação pozolânica, do tipo de compostos formados e das propriedades mecânicas (resistência à flexão e compressão). A areia utilizada na preparação das argamassas, foi uma mistura de areia siliciosa de rio, com a granulometria compreendida entre 0.15-1.70 mm. Este estudo compreendeu o efeito da variação do tipo de cura até à idade de 90 dias. As condições de cura foram avaliadas com o traço 1:3 (cal/MK:areia), com teores de 9, 17, 23 e 33% MK (% de substituição, em massa), nos seguintes ambientes: (i) cura standard ( $65\%$  HR e  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ); (ii) cura húmida ( $90\%\pm 5\%$  HR e  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ); (iii) cura standard com aspersão de água do mar ( $65\%$  HR e  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ); (iv) cura standard com aspersão de água potável ( $65\%$  HR e  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ); (v) cura em exposição natural em ambiente marítimo; (vi) cura em exposição natural ambiente urbano. Numa terceira fase avaliou-se o efeito do aumento do teor de ligante através do estudo dos traços 1:1, 1:2 e 1:3, com a condição de cura húmida ( $90\%\pm 5\%$  HR,  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ ), e com teores de substituição de 30 e 50% de metacaulino (% em massa). Esta avaliação compreendeu as técnicas de DRX, ATG-ATD e resistências à flexão e à compressão.

### 3. RESULTADOS

Os resultados relativos ao estudo das pastas de cal/MK em cura húmida revelaram que os compostos hidráulicos cristalinos obtidos em maior quantidade são a stratlingite ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) e aluminatos de cálcio hidratados, nomeadamente o monocarboaluminato ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ ) e o aluminato de cálcio hidratado,  $\text{Ca}_2\text{Al}(\text{OH})_7\cdot 6.5\text{H}_2\text{O}$ . A diminuição do teor de MK promove um decréscimo de fases hidráulicas, como a stratlingite, em especial para pastas com teor de MK  $\leq 17\%$ . De realçar que os aluminatos de cálcio hidratados formados são compostos instáveis [1,2,3,4]. As argamassas de cal/MK com o traço 1:3 submetidas a diferentes curas (urbana, marítima, aspersão de água potável, aspersão de água do mar e standard) evidenciaram o domínio da reação de carbonatação face à reação pozolânica. Os melhores resultados foram obtidos nas curas húmidas e standard. Em termos absolutos, a argamassa que apresentou maior desenvolvimento da reação pozolânica foi na cura húmida com 23% de MK. Nas argamassas com maior teor de ligante (1:1 e 1:2), curadas em ambiente húmido (HR da ordem dos  $90\%\pm 5\%$ ) à temperatura ambiente, foi notório o maior desenvolvimento da reação pozolânica relativamente às argamassas com o traço 1:3, aumento esse que foi maior à medida que o teor de substituição por MK aumentou. Este estudo demonstra que argamassas de cal aérea e metacaulino necessitam, à temperatura ambiente, de teores de humidade relativa favoráveis ao desenvolvimento da reação pozolânica, i.e. HR da ordem dos  $90\%\pm 5\%$ . As argamassas de cal+MK apresentam compostos hidratados que são quimicamente compatíveis com os das argamassas de construções antigas, o que abre boas perspetivas para a sua aplicação em conservação e restauro de edifícios antigos.

### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Gameiro, A.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Velosa, A. – *Hydration products of lime-metakaolin pastes at ambiente temperature with ageing*, Thermochemica Acta 535 (2012) 36-41.
- [2] Gameiro, A.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Velosa, A., *Metakaolin-Lime Hydration Products and Phase Stability: A Microscopy Analysis*, Atas do 13th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, junho 2011; 10 páginas.
- [3] Gameiro, A.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Velosa, A.; *Phase and microstructural characterization of lime-MK blended mixes*, Atas do VI International Materials Symposium MATERIAIS 2011, abril 2011; 6 páginas.
- [4] Gameiro, A.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Velosa, A., *Lime-metakaolin hydration products: A microscopy analysis*, aceite para publicação na revista Materialii in Tehnologije/Materials and Technology, 46 (2012) 2, 145-148.