

Conteúdo

- Introdução
- O que sabemos
 - Composições
 - Carbonatação
 - Aplicação
 - Durabilidade
- O que falta saber / fazer?
- Conclusões
- Agradecimentos
- Referências

Introdução

- As argamassas de cal foram usadas como **materiais estruturais e de acabamento** desde há mais de **10 000** anos.
- No caso de Portugal são parte integrante dos edifícios **até meados do século passado** e podem contar a história da construção, no nosso País e em muitos outros.
- Nas últimas décadas as técnicas ligadas à preparação e aplicação de argamassas de cal foram esquecidas, **quebrou-se a continuidade da sua transmissão direta** de pais para filhos, de mestres para aprendizes; passaram a ser mistérios a reaprender.
- Têm vindo a ser realizados estudos científicos sobre a cal e as argamassas de cal nas últimas quatro décadas, partindo da **análise de argamassas antigas** e do estudo de **tratados antigos** e prosseguindo com o estudo e **experimentação de argamassas de cal** usando composições semelhantes.
- Apesar destes esforços, e das evidências de que as argamassas de cal são, por razões éticas mas também por razões técnicas, as mais adequadas para a conservação de edifícios antigos, continua a ser **pouco frequente a sua utilização nas intervenções** de conservação e reabilitação.
- **Porquê?**

O que sabemos



Composição

- Nos edifícios antigos encontram-se argamassas com grande variedade de composições, em geral ricas em ligante – **traços volumétricos** cal : agregado predominantes de **1:1 a 1:2,5** – embora se encontrem também no intervalo **1:3 a 1:4**.
- Estes traços volumétricos 1:1 a 1:4 correspondem a **proporções em massa** de cerca de **1:3 a 1:12**.



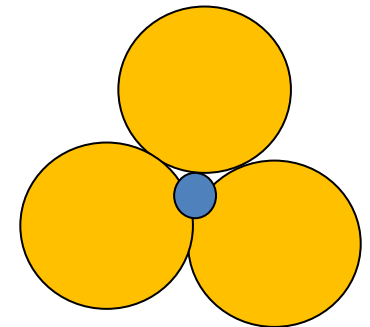
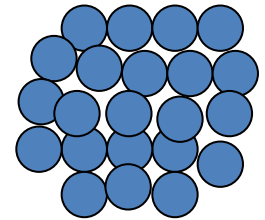
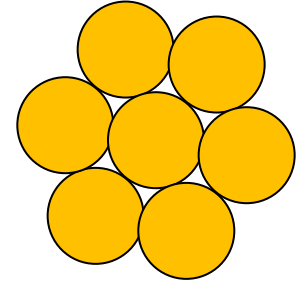
Composição

- Foram identificadas variadas composições nos edifícios existentes em Portugal:
- **Edifícios militares** (sécs. XIV a XIX): traços **ricos em cal 1:1 a 1:2 (massa)**; cal aérea calcítica e areia siliciosa; resistências mecânicas relativamente elevadas 1,5 a 7 MPa; compostos pozolânicos e outros compostos de neoformação; elevada coesão e grande durabilidade.
- **Edifícios religiosos** (sécs. XIV a XVII): traços mais diversificados **1:1,5 a 1:5,5 (massa)**; ligantes diversos (cal calcítica, cal dolomítica...) e agregados também variados; resistências mecânicas elevadas 2 a 3,5 MPa; ainda boa coesão e grande durabilidade.
- **Edifícios de habitação correntes** (sécs. XVI a XX): traços mais **pobres em cal: 1:12 (massa)**, correspondentes a traços volumétricos próximos de 1:3 a 1:4); só cal e areia siliciosa; várias camadas; mas ainda resistências mecânicas relativamente elevadas: 1,2 a 2,7 MPa.



Composição

- A **proporção cal:agregado** influencia decisivamente as características das argamassas de cal e o seu comportamento e foi portanto um aspeto muito estudado por vários autores.
- O **traço volumétrico 1:3 (cal aérea : areia)** foi apontado como referência, por ser o traço indicado por Vitruvius e também por ser o traço que assegura, para uma areia bem graduada, o **melhor preenchimento dos vazios da areia pela cal** e portanto a melhor compactidade.
- Sabe-se que o índice de vazios de uma areia bem graduada é no **mínimo de 33%**, enquanto uma areia mal graduada pode ter cerca de 48%, o que levaria a um traço próximo de 1:2 para assegurar um bom preenchimento desses vazios.
- Nos últimos anos foram ensaiadas argamassas com diversos traços, **essencialmente entre 1:1 e 1:4**.



Composição

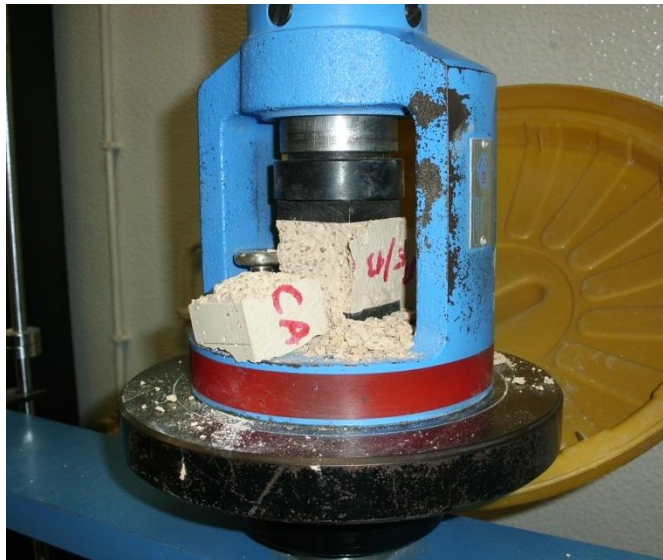
Intervalos de características mecânicas e físicas de argamassas de cal e areia
(vários estudos)

Traço cal : areia (volumétrico)	Flexão 90 d (MPa)	Compressão 90 d (MPa)	Módulo de Elasticidade 90 d (MPa)	Coefficiente de Capilaridade 90 d (kg/(m ² .min ^{1/2}))	Porosidade aberta (%)
1:4	0,2-0,5	0,3-0,6	710-900	-	-
1:3	0,2-0,8	0,6-1,6	2330-4440	1,1-2,3	27-35
1:2	0,3-0,6	0,6-1,5	2090-4710	1,9-2,6	28-39
1:1	0,5	1,2	2860	-	50

[Borsoi et al, 2012; Pascoal et al, 2015; Margalha, 1997; Rodrigues 2004; Marques et al 2006; Guerreiro et al 2007; Veiga et al 2010; Ramalho 2013; Marques et al, 2006; Henriques, 2005; Faria et al, 2008]

Composição

- Argamassas **pobres em cal** (traço 1:4) têm **menores resistências mecânicas**.
- Mas **as mais ricas em cal (1:2 e 1:1)** não são necessariamente mais resistentes que as de traço 1:3 e podem ter **maiores porosidades abertas** e coeficientes de **capilaridade superiores**, pelo menos a **curto prazo** (90 dias).



Composição

- **Aditivos minerais** (aditivos pozolânicos, microssílica, etc.) ou **orgânicos** (retentores de água, fibras orgânicas), resultam também em alterações de características, podendo melhorar o comportamento e a durabilidade.
- Os aditivos pozolânicos conferem **hidraulicidade** e favorecem a **resistência à água**, a nanossílica e os zeólitos conferem **aumentos de resistência**, as fibras reduzem a **retração e a fissuração**, os retentores de água reduzem o **risco de dessecação** e favorecem as **reações pozolânicas**.
- Têm sido realizados estudos procurando determinar de que forma os **modos de produção e de extinção da cal** se refletem em alteração de características.



Composição

Características mecânicas e físicas de argamassas de produção artesanal *versus* industrial [Margalha, 2010]

Cal	Traço cal : areia (volumétrico)	Flexão 90 d (MPa)	Compressão 90 d (MPa)	Módulo de Elasticidade 90 d (MPa)	Coefficiente de Capilaridade 90 d (kg/(m ² .min ^{1/2}))
MCp_G	1:3	0,39	0,85	4070	0,77
Mcb_G	1:3	0,33	0,63	3320	1,49
I_G	1:3	0,43	0,90	4400	1,08
MCp_SM	1:3	0,43	1,16	-	2,51
Mcb_SM	1:3	0,28	0,69	-	1,00
I_SM	1:3	0,52	1,33	3890	0,77
I_S	1:3	0,37	1,30	3180	1,20

MCp – Montes Claros preta; MCB – Montes Claros branca; I – Industrial; G – Areia do rio Guadiana; SM – Areia de Santa Margarida; S – Areia de Sesimbra

Composição

- As argamassas com cais produzidas no **forno artesanal de Montes Claros** apresentam resultados **um pouco inferiores** às argamassas com **cal de fabrico industrial** com calcário da mesma região.
- Nos estudos analisados esta variação é mais pronunciada que a resultante do uso de duas areias siliciosas diferentes, como se vê pela comparação entre as argamassas de cal industrial com **areias de Santa Margarida e de Sesimbra**.
- Trata-se de cal com o mesmo calcário, feita no mesmo período.



Composição

Características mecânicas e físicas de argamassas com diferentes modos de extinção [Margalha, 2010; Faria, 2008]

Tipo de cal	Traço cal : areia (volum.)	Flexão 90 d (MPa)	Compressão 90 d (MPa)	Módulo de Elasticidade 90 d (MPa)	Coef. Capilaridade 90 d (kg/m ² .min ^{1/2})	Poros. aberta (%)
Cal em pó	1 :3	0,52	1,33	-	0,77	-
Cal em pedra extinta com areia humida por 1 d	1 :3	0,47	0,96	3816	1,64	-
Cal em pedra extinta com areia humida por 7 d	1 :3	0,50	1,08	3658	1,48	-
Cal em pasta 1 mes	1 :3	0,37	1,06	4091	1,47	-
Cal em pasta 5 anos	1 :3	0,63	1,42	4748	1,29	-
Cal em pó	1:2	0,32	0,75	2100	0,4	35
Cal viva micronizada extinta sob a forma de pasta	1:2	0,63	1,09	3100	0,3	37
Cal em pasta (16 meses)	1:2	0,23	0,35	1600	1,2	40

Composição

- A **cal hidratada em pó**, desde que bem extinta e com teores reduzidos de carbonatação, dá argamassas com **características mecânicas médias e capilaridade baixa**.
- As argamassas obtidas a partir de **cal viva** podem apresentar **resultados superiores** se a cal viva for usada sob a forma de cal viva **micronizada**, provavelmente por essa forma facilitar uma hidratação mais rápida e uniforme; e as argamassas com **cal em pasta** apresentam resistências mecânicas inferiores e maior porosidade exceto quando têm **maturação longa**.
- São resultados aos 90 dias, podendo haver alterações significativas a longo prazo. A cal em pasta com longos períodos de maturação pode conduzir a melhores resultados a longo prazo, devido à sua **microestrutura e elevada reatividade**.



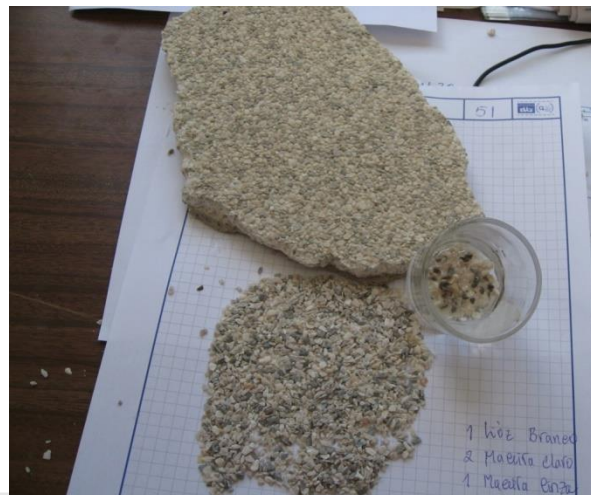
Composição

- Independentemente das características mecânicas, uma vantagem evidente da **cal em pasta** é a sua conservação ao longo do tempo de armazenagem **sem carbonatação** (com 100% Ca(OH)_2), portanto sem perda de reatividade.
- A boa **trabalhabilidade e plasticidade** são também fatores distintivos positivos da cal em pasta, principalmente para acabamentos decorativos.



Composição

- O **agregado** é outro componente decisivo no comportamento das argamassas de cal – granulometria, forma e natureza mineralógica.
- **Areia bem graduada** garante melhor **compacidade** e a **natureza mineralógica** pode favorecer mais ou menos a **ligação com a cal**.



Carbonatação

- O endurecimento das argamassas de cal aérea dá-se por **carbonatação** da cal hidratada, ou seja, por transformação do hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio por reação com o dióxido de carbono do ar.
- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{calor}$ – eq. simplificada
- No entanto, o processo é mais complexo e requer que o **dióxido de carbono esteja dissolvido em água** para que a reacção se desenvolva.
- A carbonatação exige o contacto da argamassa com o **CO₂**.
- Requer **alguma humidade** para permitir a dissolução deste gaz.
- Mas é necessário que os poros da argamassa **não estejam saturados** para existirem condições de difusão do CO₂ dissolvido na rede porosa.

Carbonatação

- Assim, as condições adequadas de humidade relativa são intermédias, situando-se aproximadamente no intervalo **40 % HR – 80 % HR**, com temperaturas moderadas.
- As **variações de humidade**, nomeadamente os ciclos humedecimento / secagem, contribuem para acelerar a carbonatação.
- Na Europa, nas zonas costeiras de clima atlântico, a **humidade elevada** em certas épocas do ano pode atrasar significativamente a carbonatação, enquanto nas zonas mediterrânicas e continentais, durante o verão, pode haver **períodos demasiado secos**, que também **não favorecem a carbonatação**.



Carbonatação

- A carbonatação confere maior **resistência da argamassa à ação da água**, porque o carbonato de cálcio é praticamente insolúvel em água, ao contrário do hidróxido de cálcio.
- Aumenta a **resistência mecânica**.
- Origina maior capacidade de **proteção à água**, porque existe redução da porosidade total e também **redução dos poros grandes** (menos poros de raio superior a 0,1 micrómetros) e o surgimento de uma gama de poros muito pequenos (gama de raios de poros de 0,001-0,003 micrómetros).
- É favorável conseguir uma carbonatação tão profunda quanto possível, mesmo que as camadas internas fiquem apenas parcialmente carbonatadas. No entanto, **a carbonatação das camadas superficiais dificulta a progressão do CO₂ para as camadas internas**, já que os poros inferiores a 0,1 micrómetros não facilitam o transporte da água líquida.
- As **condições climáticas e ambientais** na altura da aplicação e nos dias subsequentes influenciam decisivamente o processo de endurecimento, por **carbonatação** e, sempre que há compostos hidráulicos, também por hidratação. Condicionam a microestrutura e todas as características dos revestimentos de cal.

Aplicação

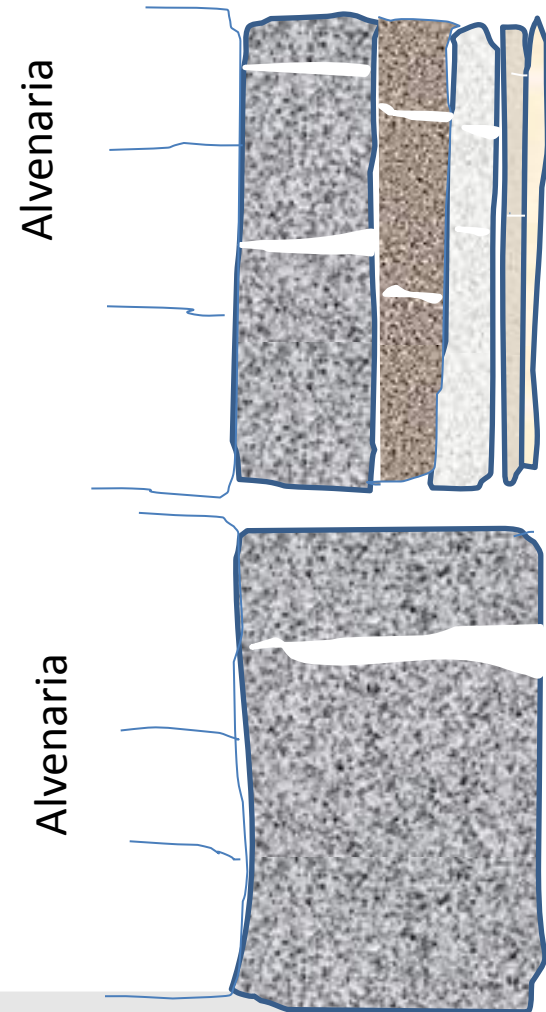
- A **aplicação** é um dos fatores mais referidos como influente no desempenho das argamassas de cal.
- A falta de especialização da **mão-de-obra** inviabiliza o uso com sucesso de revestimentos de cal.
- O peso do **fator humano, e até afetivo**, diferencia significativamente as tecnologias antigas das atuais, quer no fabrico da cal, quer na execução dos revestimentos.
- Um dos aspetos distintivos dos revestimentos com argamassas de cal é o seu carácter **multicamada** que favorece o bom desempenho e a durabilidade destas argamassas.
- A carbonatação torna-se cada vez mais lenta à medida que se progride para o interior do revestimento ou da junta, porque o CO₂ tem que percorrer um caminho mais longo e também porque a camada exterior carbonatada se torna mais compacta.
- Para **facilitar a carbonatação em toda a espessura** do revestimento de argamassa de cal, a aplicação deve ser feita em **várias camadas de baixa espessura**, deixando algum tempo de carbonatação entre elas.

Aplicação

Técnica multicamada: quase constante nos revestimentos antigos

Da alvenaria para o exterior:

- Espessura da camada diminui
- Granulometria diminui
- **Fissuras mais finas**
- Porosidade aumenta
- Permeabilidade ao vapor aumenta
- Permeabilidade à água pode aumentar ligeiramente até quase à última camada
- Mas reduz nas últimas camadas (mais poros mas menor raio)



Aplicação

- A **técnica multicamada** permite também aumentar a capacidade de proteção à água, quer por criar interfaces entre camadas que **dificultam a penetração da água**, quer por **impedir a formação de fissuras contínuas** desde a superfície até ao suporte.
- Em relação a outros fatores ligados à aplicação, como o **teor de água** de amassadura e o **tipo de amassadura** e de **aplicação**, alguns estudos têm sido feitos, permitindo recomendar alguns procedimentos:



Aplicação

- Usar quantidades de **água de amassadura reduzidas**, conduzindo a uma argamassa **bastante consistente**; embora mais difícil de aplicar, resulta num revestimento mais compacto, com maior capacidade resistente, menor tendência para fissurar e menor permeabilidade à água.
- Promover uma **mistura perfeita** dos constituintes, através de uma amassadura adequada (a amassadura com uma betoneira normal de eixo vertical não é a mais indicada para este tipo de argamassa).
- **Apertar bem a massa contra o suporte**, ou contra a camada anterior, no momento certo do início do endurecimento, é muito importante já que contribui para garantir maior compactidade e menor fissuração.
- **Aplicar em várias camadas finas**: um maior número de camadas, de menor espessura cada uma, diminui as tensões de retração, reduzindo também a fissuração e melhorando a capacidade de impermeabilização.



Aplicação

- **Dosear a exposição à radiação solar**, que em certa medida facilita a carbonatação da cal e o consequente endurecimento do revestimento, mas em excesso, pode aumentar a fissuração por dessecação rápida e impedir a dissolução do CO_2 necessária à carbonatação.
- Os cuidados têm que ser adaptados se se usarem **argamassas com pozolanas** (aditivos que conferem hidráulica à argamassa através de reações com a cal, que se dão ao longo do tempo, na presença de água). Nesse caso, é importante manter o **revestimento húmido** durante os primeiros dias, de forma a facilitar as reações pozolânicas; por isso a água de amassadura deve ser em maior quantidade (consistência mais fluida) e o controlo da exposição solar deve ser mais rigoroso.
- As argamassas de cal têm **retração de secagem elevada e podem portanto fissurar logo no início** do endurecimento. No entanto, dado que esse endurecimento é lento e que a argamassa se mantém plástica durante muitas horas, a fissuração inicial pode ser colmatada com um **novo aperto** feito com colher ou com talocha de madeira.
- Deste modo, a influência dos múltiplos pequenos **cuidados de aplicação**, da **experiência**, da **atenção** e **cuidado** dos aplicadores pode ser decisiva e o **fator humano** assume um grande relevo.

Durabilidade

- Os **fatores de degradação** das argamassas são relativamente conhecidos:
 - i) sendo materiais muito porosos e mecanicamente fracos, o **gelo** é um dos mecanismos de degradação mais poderosos;
 - ii) os **sais**, principalmente os mais expansivos ou os que sujeitam a argamassa a mais ciclos dissolução / cristalização, são outro mecanismo muito gravoso;
 - iii) a **água** promove a dissolução do hidróxido de cálcio e dificulta a carbonatação (principalmente nas primeiras idades), além de favorecer alguns dos outros mecanismos referidos;
 - iv) a **poluição** depositada nas superfícies gera, por dissolução com a água da chuva, ácidos que atacam as argamassa de cal;
 - v) o **ataque biológico** produz degradação das argamassas, quer pela produção de ácidos, quer pela criação de tensões.

Durabilidade

- Por outro lado, como a carbonatação vai progredindo ao longo do tempo e as ações de dissolução / recristalização do carbonato de cálcio contribuem também para o aumento da compacidade das argamassas, se estes **mecanismos de “reforço”** forem predominantes em relação às **ações de degradação**, as argamassas de cal podem ir sempre **melhorando** ao longo do tempo.
- Há poucos estudos de laboratório a longo prazo, mas os resultados existentes mostram **incrementos graduais de resistência**.
- Ou seja, o que é preciso conseguir com as argamassas de cal é que os mecanismos de degradação sejam controlados nas primeiras idades (numa escala de 2 ou 3 anos) para que a argamassa ultrapasse a fase de maior fragilidade e adquira resistência suficiente para **poder evoluir favoravelmente ao longo do tempo**. Isso consegue-se com uma boa preparação e aplicação, evitando a fissuração e criando condições para uma carbonatação inicial rápida e em profundidade.

O que falta saber / fazer

- Sabe-se que as argamassas de cal aérea são as mais **compatíveis e adequadas para conservação** de edifícios antigos;
- Sabe-se também que são materiais **duráveis**;
- Há um conhecimento técnico e científico consolidado do comportamento destes materiais e dos fatores que influenciam esse comportamento.
- No entanto, **o seu uso em conservação e reabilitação** é limitado.
- **O que falta saber** para possibilitar a utilização generalizada, em conservação, das argamassas de cal aérea? E **o que falta fazer**?
- Podem apontar-se algumas lacunas de conhecimento que podem e devem ser colmatadas.

O que falta saber / fazer?



O que falta saber / fazer

- No **fator conhecimento técnico-científico**, encontram-se as seguintes necessidades:
 - i) estudar profundamente os **fatores de degradação a curto prazo** das argamassas de cal, para poder controlá-los ou evitá-los;
 - ii) estudar a influência dos fatores locais – **suporte, clima, ambiente** – na evolução e no comportamento destas argamassas ao longo do tempo;
 - iii) aprofundar o conhecimento da influência das **matérias-primas locais**: matéria prima da cal – calcário calcítico ou dolomítico, mármore, conchas... – e areias – natureza e granulometria;
 - iv) definir **composições base** (incluindo tipo de areia e quantidade de água);
 - v) definir **requisitos e regras práticas** para cada uso e condições particulares.

O que falta saber / fazer

- No **fator humano**, já apontado como essencial para o sucesso das argamassas de cal, referem-se também aspetos a desenvolver: apostar na **formação** a todos os níveis dos intervenientes na conservação e reabilitação:
 - i) formação dos **técnicos** – engenheiros e arquitetos – para que estes materiais e elementos construtivos sejam logo bem definidos em projeto,
 - ii) formação dos **aplicadores**, com parte teórica para identificarem as questões que podem causar problemas (tipos de cal, quantidade de água, tempos de secagem, condições climáticas menos favoráveis, etc.) e parte prática, muito importante num trabalho que tem muito de artesanal.



O que falta saber / fazer

- Outro conjunto de aspetos a considerar tem a ver com o **fator tempo**: o planeamento deve ter em conta **os tempos da cal**:
 - i) necessidade de fazer aplicações em **condições climáticas apropriadas**, com folgas de tempo para esperar que não chova e que a humidade e temperatura sejam favoráveis;
 - ii) necessidade de **tempos de espera** entre aplicações das camadas de argamassas de cal e depois dos acabamentos com base em cal.
- Faltam, talvez, outras ações, que se espera que a comunidade interessada nestas questões identifique, num **inquérito que se põe à disposição dos participantes**.

Para concluir



Conclusões

- As argamassas de cal foram usadas na construção **durante milénios** e até meados do século passado.
- São reconhecidas como as mais **compatíveis** com os edifícios antigos, cujas alvenarias e revestimentos tinham originalmente este material como base.
- Para reapropriação do conhecimento necessário à sua utilização em conservação e reabilitação, muita investigação tem sido realizada e muitos estudos científicos têm sido desenvolvidos.
- É hoje possível aceder a **muita informação pertinente** para a execução e aplicação de argamassas de cal.
- Então **porque não é o seu uso generalizado** na conservação e reabilitação de edifícios antigos?

Conclusões

- Três conjuntos de aspetos a aprofundar foram identificados, ligados aos seguintes fatores:
 - **fator conhecimento científico** (principalmente ao nível das condições locais e das diferentes naturezas dos materiais de base);
 - **fator humano** (formação dos técnicos e formação teórica e prática dos aplicadores);
 - **fator tempo** (planeamento das intervenções tendo em conta os tempos da cal).
- Existirão talvez mais lacunas e fatores a considerar: para as identificar solicita-se a **colaboração dos participantes das V Jornadas Fical** e, numa fase seguinte, de toda a comunidade de interessados na cal.
- Mais uma pergunta em aberto, para todos nós: **que ações implementar** para colmatar as lacunas e atingir o objetivo de aplicar de facto as argamassas de cal?

Agradecimentos

Este trabalho insere-se no Projeto de Investigação do LNEC

PRESERVE – Preservação de revestimentos do Património construído com valor cultural: identificação de riscos, contributo do saber tradicional e novos materiais para conservação e proteção.

Agradece-se a todos os colegas que têm participado, em particular através de trabalhos citados em referências.



Referências

Referências bibliográficas

- Arandigoyen, M.; Bicer-Simsir, B; J.I. Alvarez, J.I.; Lange, D. (2006). Variation of microstructure with carbonation in lime and blended pastes. *Applied Surface Science*, 252, 7562–7571.
- Balksten, Kristin; Klasén, Kenth (2005). The influence of craftsmanship on the inner structures of lime plasters. RILEM Workshop.
- Barbero-Barrera, M. M.; Maldonado-Ramosa, L, Van Balen, K., García-Santosa, A., Neila-González, F. J. (2014). Lime render layers: An overview of their properties. *Journal of Cultural Heritage* 15, 326–330.
- Bentur, A., (2002). Cementitious Materials – Nine Millennia and A New Century: Past, Present, and Future. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14 (1), 2-22.
- **Borges, C.; Santos Silva, A.; Veiga, R. (2014). Durability of ancient lime mortars in humid environment. *Construction and Building Materials*, 66, 606-620. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.05.019.**
- **Borsoi, G.; Tavares, M.; Veiga, M. R.; Santos Silva, A. (2012). Microstructural and physical-mechanical analysis of the performance of nanostructured and other compatible consolidation products for historical renders, *Materials and Technology Magazine (Materili in Tehnologije)*, 46, 93-97.**
- Cavaco, L.; Veiga, M. R.; Gomes, A. (2003). Render application techniques for ancient buildings. 2nd International Symposium on Building Pathology, Durability And Rehabilitation, Lisboa, LNEC, CIB, Novembro de 2003.

Referências

Referências bibliográficas

- Cizer, O.; Van Balen, K; Elsen, J.; Van Gemert, D. (2012). Real-time investigation of reaction rate and mineral phase modifications of lime carbonation. *Construction and Building Materials*, 35, 741–751.
- Di Bella, G.; Fiore, V.; Galtieri, G.; Borsellino, C.; Valenza, A. (2014). Effects of natural fibres reinforcement in lime plasters (kenaf and sisal vs. Polypropylene). *Construction and Building Materials* 58, 159–165.
- Duran, A.; Navarro-Blasco, I.; Fernandez, J.M.; Alvarez, J.I. (2014). Long-term mechanical resistance and durability of air lime mortars with large additions of nanosilica. *Construction and Building Materials* 58, 147–158.
- **Faria-Rodrigues, P. (2004). Argamassas de revestimento para alvenarias antigas. Contribuição para o estudo da influência dos ligantes. Tese apresentada para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil pela Universidade Nova de Lisboa.**
- **Faria, P; Henriques, F.; Rato, V. (2008). Comparative evaluation of lime mortars for architectural conservation. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 338-346.**
- **Fragata, A.; Veiga M. R. (2010). Air lime mortars: the influence of calcareous aggregate and filler addition. *Materials Science Forum*, vols 636-637 p. 1280-1285, 2010 Trans Tech Publications, Switzerland. Doi10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.1280 (available in full text on www.scientific.net).**
- Gillmore, Q. (2000). *Limes Hydraulic Cement and Mortars*. Wexford College Press.

Referências

Referências bibliográficas

- Guerreiro, C.; Henriques, F.; Pinto, A. (2007). Análise comparativa de argamassas de cal aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edificios antigo. In 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa.
- Henriques, F. (2005). Challeges and perspectives of replacement mortars in architectural conservation. In C. Groot (Ed) International Rilem workshop on repair mortars for historic masonry (pp. 143-161). Delft. RILEM
- Lanas, J., Sirera, R. and Alvarez, J. I. (2005). Compositional changes in lime-based mortars exposed to different environments. *Thermochimica Acta*, 429 (2), 219-226.
- Lanas, J.; Sirera; R.; Alvarez, J.I. (2006). Study of the mechanical behaviour of masonry repair lime-based mortars cured and exposed under different conditions. *Cement and Concrete Research*, 36, 961-970.
- Lagerblad, B. (2006). Carbon dioxide uptake during concrete life, Sate of the art." Nordic Innovation Centre project.
- Lawrence, R. M. H., (2006). A Study of Carbonation in Non-Hydraulic Lime Mortars." Doctor of Philosophy, PhD Thesis, University of Bath.
- Lawrence, R. M. H., Mays, T. J., Rigby, S. P., Walker, P. and D'Ayala, D. (2007). Effects of carbonation on the pore structure of non-hydraulic lime mortars. *Cement and Concrete Research*, 37 (7), 1059-1069. Lawrence 2007.

Referências

Referências bibliográficas

- Liguori, B.; Caputo, D.; Lucolano, F. (2015). Fiber-reinforced lime-based mortars: Effect of zeolite addition. *Construction and Building Materials* 77 (2015) 455–460
- **Margalha, M. G. (1997). O uso da cal em argamassas no Alentejo. Dissertação apresentada para o grau de Mestre em Recuperação do Património Arquitetónico e Paisagístico, Universidade de Évora, setembro de 1997.**
- **Margalha, M. G. (2010). Ligantes aéreos minerais. Processos de extinção e o factor tempo na sua qualidade. Tese de Doutoramento pelo IST, Universidade de Lisboa, janeiro de 2010.**
- **Margalha, G., Veiga, R., Santos Silva, A., Brito, J. (2011). Traditional methods of mortar preparation: the hot lime mix method. *Cement & Concrete Composites*, 33, 796–804. Doi: 10.106/J.Cemconcomp.2011.05.008.**
- **Margalha, G.; Santos Silva, A.; Veiga, R.; Brito, J. De; Ball, R.; Allen, G. (2013a). Microstructural changes of lime putty during aging, *Journal of Materials In Civil Engineering*, Elsevier, Uk., 25 (10), 1524-1532. Doi: 10.1061/(Asce)Mt.1943-5533.0000687.**
- **Margalha, M. G.; Veiga, M. R.; Santos Silva, A.; Brito, J. (2013b). A influência do teor de cal em pasta em argamassas. Seminário Limecontech - conservação e durabilidade de revestimentos históricos - técnicas e materiais compatíveis, Lisboa, LNEC.**

Referências

Referências bibliográficas

- Marques, S. F.; Ribeiro, R. A.; Dilva, L. M.; Ferreira, V. M.; Labrincha, J. A. (2006). Study of rehabilitation mortars: construction of a knowledge correlation matrix. *Cement and Concrete Research*, 36 pp. 1894-1902.
- Oliveira, M. (2016). A Multi-physics approach applied to masonry structures with non-hydraulic lime mortars Tese de Doutoramento em Engenharia de Estruturas. Universidade do Minho.
- **Pascoal, P.; Borsoi, G.; Veiga, R.; Faria, P.; Santos Silva, A. (2015). Consolidation and chromatic reintegration of historical renders with lime-based pozzolanic products. *Studies in conservation Volume 60, Issue 5 (September, 2015), pp. 321-332. DOI 10.1179/2047058414Y.0000000151.***
- Pavlík, V.; Uzřáková, M. (2016). Effect of curing conditions on the properties of lime, lime–metakaolin and lime–zeolite mortars. *Construction And Building Materials* 102, 14–25.
- Peroni, S. et al. (1981). Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes. Rome, ICCROM.
- Popovics, S. (1992). *Concrete Materials. Properties specifications and testing. Building materials science series (2nd ed.)*. William Andrew.
- **Ramalho, Cátia (2013). A resistência mecânica e a porosidade das argamassas bastardas com baixo teor de cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade de Évora.**

Referências

Referências bibliográficas

- Rosell, J. R.; Haurie, L; Navarro Inma, A.; Cantalapiedra, R. (2014). Influence of the traditional slaking process on the lime putty characteristics. *Construction and Building Materials* 55, 423–430.
- Rua, H. (1998). *The ten books of architecture by Vitruvius*. Lisboa, IST.
- Santos A.R.; Veiga M.R.; Santos Silva A.; de Brito J. (2015). A influência das areias no desempenho mecânico das argamassas de cal. *CONPAT 2015*, Lisboa.
- Van Balen, K.; Van Gemert, D. (1994). Modelling lime mortar carbonation. *Materials and Structures*, 27 (27), 393-398.
- **Veiga, M. R.; Fragata, A.; Velosa, A. L.; Magalhães, A. C.; Margalha, M. G. (2010). Lime-Based Mortars: Viability For Use As Substitution Renders In Historical Buildings. *International Journal of Architectural Heritage* Vol. 4 (2). Philadelphia: Taylor And Francis. Paulo B. Lourenço And Pere Roca Eds. Special Issue, 177-195. Issn 1558-3058. Doi: 10.1080/15583050902914678.**
- **Veiga (2006). *Arquitectura Ibérica. Reabilitação*. nº 12.**
- **Veiga, M. R. (2007). *Conservação e reparação de revestimentos de paredes de edifícios antigos. Métodos e materiais*. Lisboa, LNEC. Programa de Investigação e Programa de Pós-graduação para obtenção do título de Habilitação para o Exercício de Funções de Coordenação de Investigação Científica. ISBN 978-972-49-2176-1.**

Referências

Referências bibliográficas

- **Veiga, M. R. (2012). Argamassas de alvenarias históricas. Funções e características. CIREA2012 – Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria. Maio 2012, Universidade Nova de Lisboa. Edits: Fernando Pinho, Válder Lúcio, Carlos Rodrigues, António Ramos, Paulina Faria, Manuel Baião, Paulo Lourenço, Humberto Varum, Ângela Nunes e Luís Moura. Pp. 17-27. ISBN: 978-989-20-3080-7.**
- **Veiga, M. R.; Santos Silva, António; Tavares, Martha; Santos, Ana Rita; Lampreia, Nádia (2013). Characterization of renders and plasters from a 16th Century Portuguese Military Structure: Chronology and durability. In Restoration of Buildings and Monuments, Vol. 19, n.4, pp. 223–238.**
- **Velosa, A.; Veiga, M. Rosário (2011). 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.**
- **Walker, R.; Pavia, S.; Mitchell, R. (2014). Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. Construction and Building Materials 61, 340–348.**