

## ARGAMASSAS DE CAL HIDRAULICA NATURAL COM INCORPORAÇÃO DE RESIDUOS CERÂMICOS

Gina Matias <sup>(1)</sup>; Isabel Torres <sup>(2)</sup>; Paulina Faria <sup>(3)</sup>

(1) ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção. [ginamatias@itecons.uc.pt](mailto:ginamatias@itecons.uc.pt); (2) Universidade de Coimbra. [itorres@dec.uc.pt](mailto:itorres@dec.uc.pt); (3) Universidade Nova de Lisboa. [paulina.faria@fct.unl.pt](mailto:paulina.faria@fct.unl.pt);

### RESUMO

Os revestimentos das paredes exteriores são os elementos mais expostos às ações climáticas, mecânicas ou ambientais e, como tal, são os primeiros a sofrer degradação e a necessitar de reabilitação. Em geral, nos edifícios antigos, as argamassas de cal aérea são as mais compatíveis com os sistemas existentes. Contudo, devido ao seu tempo de cura prolongado e dificuldade de endurecimento sob condições de humidade muito elevada, não é possível, em muitos casos, recorrer a este produto. Sendo de produção comum em Portugal, a cal hidráulica natural é uma boa alternativa à cal aérea. Tendo em conta que, no passado, era comum a incorporação de resíduos de cerâmica de barro vermelho para melhorar o desempenho de argamassas de cal, e que ainda existem alguns vestígios da sua utilização, explorou-se a possibilidade de incorporar este tipo de produto, resíduo de indústrias de cerâmica, em argamassas de cal hidráulica natural, para a reabilitação de rebocos ou para aplicação em novos rebocos. Foi, por isso, levada a cabo uma campanha experimental com vista à caracterização de argamassas de cal hidráulica natural com incorporação de diversos tipos de resíduos da indústria cerâmica, em substituição parcial do agregado comum, que deu origem a resultados bastante satisfatórios. Com o estudo desenvolvido pretendeu-se contribuir para o desenvolvimento das argamassas de reboco, mas também desenvolver soluções viáveis para a reutilização de resíduos muitas vezes depositados em aterro.

**Palavras-chave:** cal hidráulica natural, resíduos de cerâmica, argamassas de reboco.

## NATURAL HYDRAULIC LIME MORTARS WITH CERAMIC RESIDUES' INCORPORATION

### ABSTRACT

Exterior wall coverings are the most exposed elements to climatic, mechanical or environmental actions and, therefore, are the first ones suffering degradation and needing repair. Overall, in old buildings, air lime mortars are the most compatible with existing systems. However, due its long curing period and slow hardening under high relative humidity conditions, it is not possible, in many cases, to use this product. In the past, it was common to incorporate red clay ceramic waste in lime mortars to improve its behavior, and some traces of its utilization still exist. The possibility to incorporate this type of product, a by-product from ceramic industries, in natural hydraulic lime mortars, for renders rehabilitation and even for new renders was explored. Therefore, an experimental campaign was carried out to characterize natural hydraulic lime mortars with the incorporation of several types of industrial ceramic residues partially substituting common aggregate, who revealed quite satisfying results. With this study it was intended to contribute to the progress of mortars for old and new building renders and also to develop viable solutions for waste recovery of a material that is commonly landfilled.

**Key-words:** natural hydraulic lime, ceramic waste, rendering mortars.

## 1. INTRODUÇÃO

Remonta ao período do Império Romano o recurso a resíduos de cerâmica de barro vermelho para a produção de argamassas. Em Portugal são ainda visíveis, em ruínas desta época, vários exemplos de revestimentos com a incorporação deste tipo de material, como são os casos de Troia e Conímbriga. A incorporação deste tipo de resíduos em argamassas era efetuada de duas formas distintas, consoante a dimensão dos grânulos: em granulometria muito fina ou pó, permitindo a ocorrência de reações pozolânicas com o ligante, ou em granulometrias de maiores dimensões, permitindo a substituição parcial do agregado.

Visto que a reação pozolânica desenvolvida nas argamassas com pó de cerâmica levava a que as mesmas revelassem um desempenho melhorado e um comportamento que se podia considerar hidráulico<sup>(1)</sup>, estas eram muitas vezes utilizadas na construção de importantes obras romanas<sup>(2)</sup>. A elevada superfície específica do pó de cerâmica, bem como a presença de elevadas quantidades de sílica e alumina, no estado amorfo, potenciam a reatividade pozolânica. A utilização do pó proveniente de resíduos cerâmicos poderá permitir a redução da inclusão de ligante, o que acarretará a redução da exploração de recursos naturais, bem como das emissões poluentes das respetivas centrais de produção.

Enquanto agregado, em granulometria adequada à preparação de argamassas, e similar às areias comumente utilizadas, os resíduos de cerâmica permitem a redução significativa da utilização de materiais naturais, provenientes de extração. Tem-se verificado que a substituição de agregado comum, em argamassas cimentícias, por agregado com esta origem, melhora o comportamento das mesmas<sup>(3)</sup>. Deverá ser tido em conta, no entanto, que a forma dos resíduos poderá ter influência no comportamento das argamassas. A esfericidade, a angularidade e a textura dos grãos condicionam a ligação agregado-ligante e, conseqüentemente, a trabalhabilidade da mistura e a quantidade de água utilizada. No estado endurecido, a distribuição das partículas poderá condicionar as resistências mecânicas e, no geral, todo o

comportamento na presença de água/vapor de água, pelas alterações decorrentes da reorganização da estrutura porosa <sup>(4)</sup>.

O aproveitamento dos resíduos cerâmicos tem como vantagem primordial permitir a redução da deposição em aterro que, segundo o relatório de desperdícios da indústria cerâmica, relativo ao ano de 2003 <sup>(5)</sup> corresponde a 37 % dos resíduos produzidos pelas respectivas indústrias. Neste relatório é também indicado que, durante o ano de 2005 registou-se, só na Região Centro de Portugal (uma pequena área de território), a produção de cerca de 6927 toneladas de resíduos resultantes das indústrias de fabricação de tijolos e telhas, provenientes da triagem ao longo do processo de fabrico. Deste modo, é possível concretizar uma redução significativa do impacte ambiental originado, quer pela extração de minerais, quer pela deposição de materiais em aterro.

Para o desenvolvimento do trabalho apresentado, foram seleccionados três tipos de resíduos, recolhidos em indústrias da zona Centro do país, e provenientes da produção de telha, tijolo e vasos decorativos. Os resíduos foram simplesmente moídos e o resultado da moagem foi um material com uma granulometria relativamente extensa, considerada adequada à preparação de argamassas de reboco. Estes resíduos foram integrados em argamassas de cal hidráulica natural, em substituição parcial do agregado. Neste trabalho são apresentados os resultados de uma campanha experimental levada a cabo com as argamassas mencionadas, em que, para além da sua caracterização no estado fresco, foram realizados ensaios aos 28 e aos 60 dias de idade.

Com o presente estudo, pretende-se aprofundar o conhecimento relativamente à integração de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação de edifícios antigos ou argamassas para aplicação em novos edifícios. Pretende-se obter composições com desempenhos melhorados e reaproveitar materiais cujo destino habitual será a deposição em aterro, contribuindo assim para um desenvolvimento sustentável.

## 2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Caracterização dos materiais

Na campanha experimental foram utilizados os três tipos de resíduos de cerâmica já referidos, de tijolos (B - brick), de telhas (T - tile) e de vasos (P - pot), que foram incorporados diretamente nas argamassas, após moagem simples num moinho de maxilas, com um crivo de 10 mm. Foi utilizada uma cal hidráulica natural NHL3.5, designada por H (fornecida pela Secil Martingança) e areia de rio comum (river sand). Foi realizada a caracterização de todos os materiais referidos. Os resíduos moídos foram inseridos em substituição parcial do agregado (areia), nas percentagens de 20% (L - low) e de 40% (H - high), em argamassas com traço volumétrico 1:3 de ligante:agregado.

Foi efetuada a análise granulométrica, de acordo com o procedimento descrito na norma NP EN 933-1:2000, dos materiais utilizados como agregado, e, na Figura 1, apresentam-se as curvas obtidas.

Verificou-se que todos os resíduos têm uma distribuição granulométrica similar e muito aproximada da distribuição granulométrica da areia utilizada, sendo a única diferença evidente a quantidade de material fino, inferior a 0,063 mm. No caso dos resíduos, a percentagem de passados no peneiro de 0,063 mm é superior, em cerca de 10 %, ao material de idênticas dimensões da areia de rio.

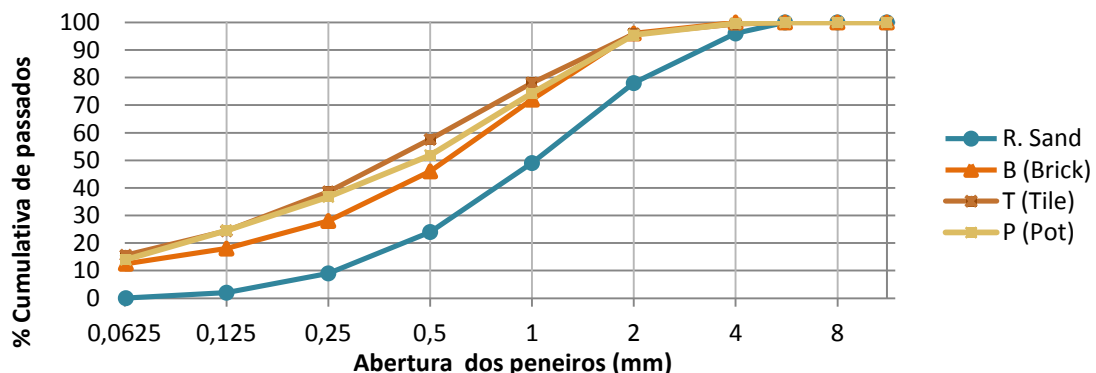


Figura 1 – Análise granulométrica dos resíduos e areia utilizados

Foi também determinada a baridade dos materiais utilizados, de acordo com a norma NP EN 1097-3:2002, de forma a permitir um doseamento exato de quantidades durante a preparação das misturas (Tabela 1).

Tabela 2 – Baridade média dos materiais utilizados

Material	Baridade média (g/cm <sup>3</sup> )
Areia de Rio	1,540
Cal hidráulica NHL3,5	0,814
B (Brick)	1,099
T (Tile)	1,173
P (Pot)	0,991

## 2.2 Preparação de argamassas e caracterização no estado fresco

Foram preparadas argamassas com as percentagens de resíduo de 20 % e 40 % em substituição parcial do volume da areia, que se designaram, respetivamente, por HL e HH. Para melhor podermos analisar os resultados obtidos, preparou-se também uma argamassa de referência, sem qualquer adição de resíduo, HR. Na Tabela 3 apresentam-se os traços de todas as argamassas apresentadas neste artigo.

Tabela 2 – Traço volumétrico e traço ponderal das argamassas analisadas

Designação	Traço Volumétrico					Traço ponderal
	NHL 3.5	B	T	P	Areia	
HR	1	-	-	-	3	1:5,7
HLB	1	0,6	-	-	2,4	1:0,8:4,5
HHB	1	1,2	-	-	1,8	1:1,6:3,4
HLT	1	-	0,6	-	2,4	1:0,9:4,5
HHT	1	-	1,2	-	1,8	1:1,7:3,4
HLP	1	-	-	0,6	2,4	1:0,7:4,5
HHP	1	-	-	1,2	1,8	1:1,5:3,4

A quantidade de água adicionada foi controlada de forma a ser obtida uma consistência por espalhamento de, aproximadamente, de 150 mm (admitindo uma variação de  $\pm 15$  mm).

Os constituintes secos, conservados à temperatura e humidade relativas de ambiente interior, foram misturados e foi registada a quantidade de água adicionada. Determinou-se a consistência de cada mistura, segundo a norma de ensaio EN 1015-3:1999 e foi calculada a relação água/ligante correspondente. Os dados mencionados são indicados na Tabela 3.

Tabela 3 – Relação água/ligante das argamassas estudadas

Designação	Relação água/ligante	Consistência por Espalhamento
HR	0,91	152
HLB	1,02	143
HHB	1,06	142
HLT	0,99	165
HHT	1,08	162
HLP	0,98	155
HHP	1,07	149

Verificou-se que, tendencialmente, as argamassas com maior quantidade de resíduo e, conseqüentemente, com uma quantidade superior de pó, necessitaram de uma quantidade ligeiramente superior de água para a obtenção de uma consistência próxima das restantes. Quanto à origem do resíduo, verificou-se não ter grande influência.

As argamassas foram preparadas e compactadas em moldes triplos para provetes com 40 mm x 40 mm x 160 mm, com um compactador de impacto, em duas camadas, e em moldes circulares com, aproximadamente, 107 mm de diâmetro e 16 mm de espessura. Nestes moldes cada camada foi compactada com 20 pancadas. Os provetes permaneceram nos moldes durante 5 dias, a uma temperatura de  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e uma humidade relativa de  $(95 \pm 5)\%$ . Nos 2 dias seguintes a humidade relativa foi reduzida para  $(65 \pm 5)\%$ , período ao fim do qual os provetes foram desmoldados. Todas as

argamassas permaneceram nas condições de  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  e  $(65 \pm 5)\%$ , durante o restante período de cura, até à data de ensaio.

### 2.3 Caracterização de argamassas no estado endurecido

#### *Resistência à flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade*

As resistências mecânicas foram determinadas de acordo com a norma de ensaio EN 1015-11:1999/A1. Os resultados obtidos para os 28 dias e para os 60 dias, para a resistência à flexão e para a resistência à compressão, são apresentados na Figura 2 e na Figura 3, respectivamente. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado tendo por base as indicações da norma de ensaio NP EN 14146, devidamente ajustada aos provetes de ensaio com dimensões de 160 mm x 40 mm x 40 mm. As leituras de frequências foram realizadas longitudinalmente e os resultados apresentados foram determinados pelo método de imersão, tendo sido efetuadas leituras aos 28 e aos 60 dias de idade. Na Figura 4 são apresentados os resultados da determinação do módulo de elasticidade calculados pelo método de imersão.

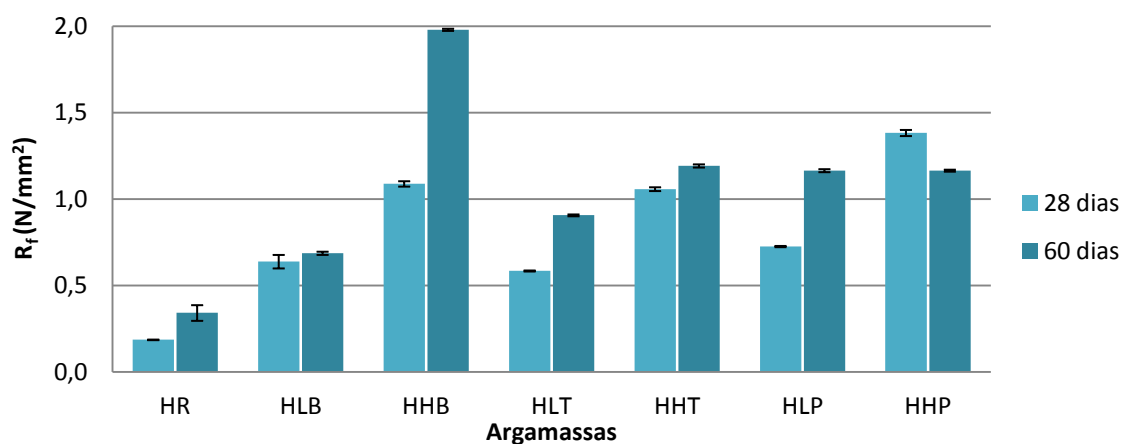


Figura 2 – Resistência à flexão, aos 28 dias e aos 60 dias

Verificou-se, na generalidade, que as resistências mecânicas aumentaram ao longo do período de cura. Este aumento foi mais representativo em termos de resistência à flexão, havendo um destaque considerável da argamassa com elevada percentagem de resíduo de tijolo (HHB) que, não só obteve valores de resistência superiores a todas as restantes, como também foi aquela que revelou um aumento mais significativo. Todas as argamassas estudadas tiveram melhor desempenho que a argamassa de referência,

HR, o que denota alguma reatividade pozolânica do resíduo utilizado. Os desvios-padrão obtidos foram bastante reduzidos.

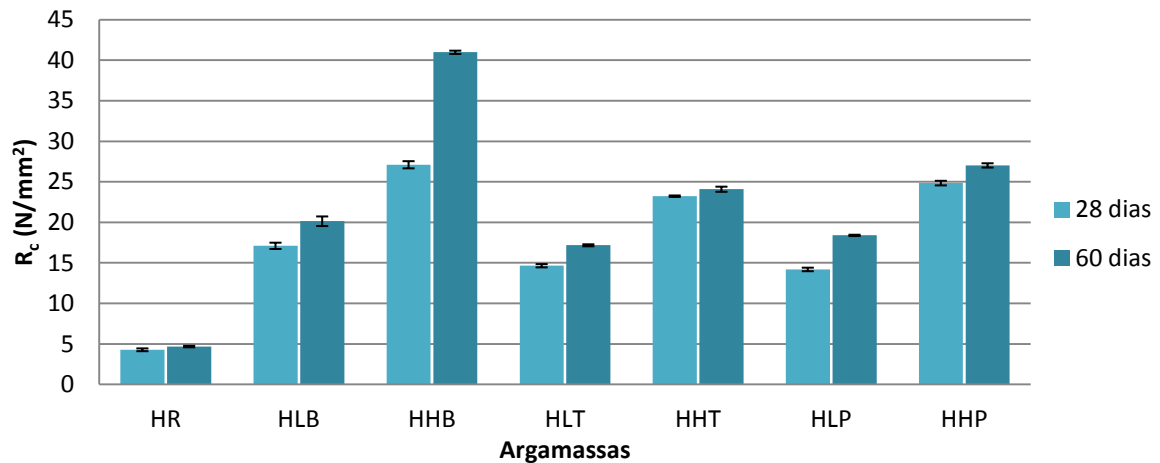


Figura 3 – Resistência à compressão aos 28 e aos 60 dias

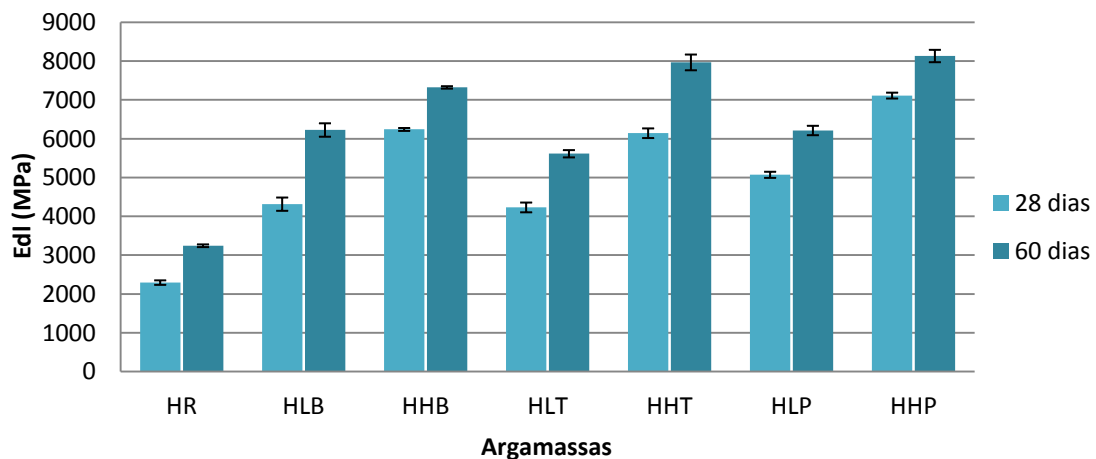


Figura 4 – Módulo de elasticidade dinâmico, aos 28 e aos 60 dias

A tendência de evolução do módulo de elasticidade dinâmico foi, naturalmente, muito similar à das resistências mecânicas. As argamassas com percentagens mais elevadas de resíduo foram as que obtiveram um módulo de elasticidade mais elevado, e todas as argamassas apresentam módulos de elasticidade dinâmicos significativamente superiores ao da argamassa de referência. Esta situação pode inviabilizar a sua adequabilidade para aplicação em rebocos de edifícios mais antigos, com paredes de baixas resistências mecânicas e elevada deformabilidade.

*Absorção de água por capilaridade*

A absorção de água por capilaridade foi determinada com base nas indicações da norma de ensaio EN 15801:2009. Foi utilizada uma das metades dos provetes resultantes da resistência à flexão e as faces laterais dos provetes foram impermeabilizadas. Durante o ensaio, os provetes foram mantidos em ambiente saturado. Na Figura 5 é apresentada a curva de absorção durante a primeira hora de ensaio, para os 60 dias. Os coeficientes de capilaridade obtidos, aos 28 e aos 60 dias, são apresentados na Figura 6, bem como o respectivo desvio padrão. Traduzem a velocidade de absorção capilar inicial e determinam-se pelo declive do trecho inicial de absorção. Na Figura 7 é apresentado o valor assintótico das curvas de absorção das argamassas, para as duas idades.

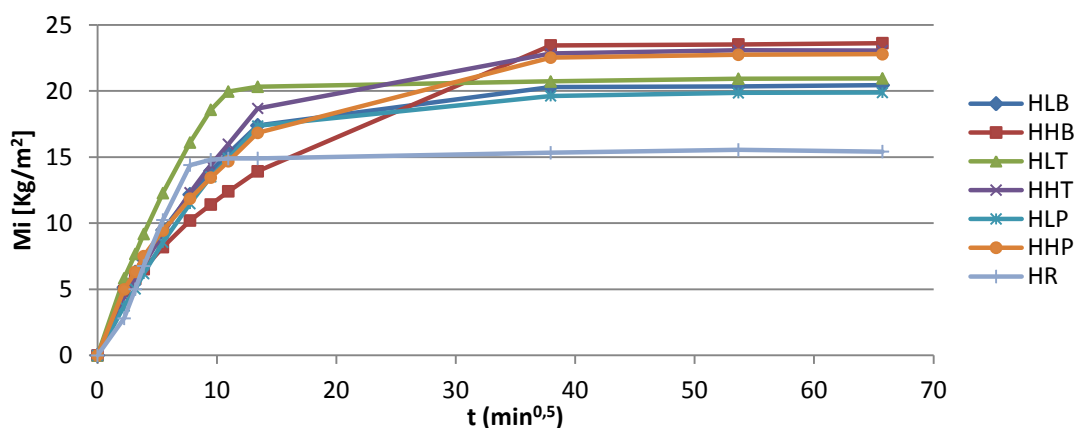


Figura 5 – Curvas de absorção capilar, aos 60 dias

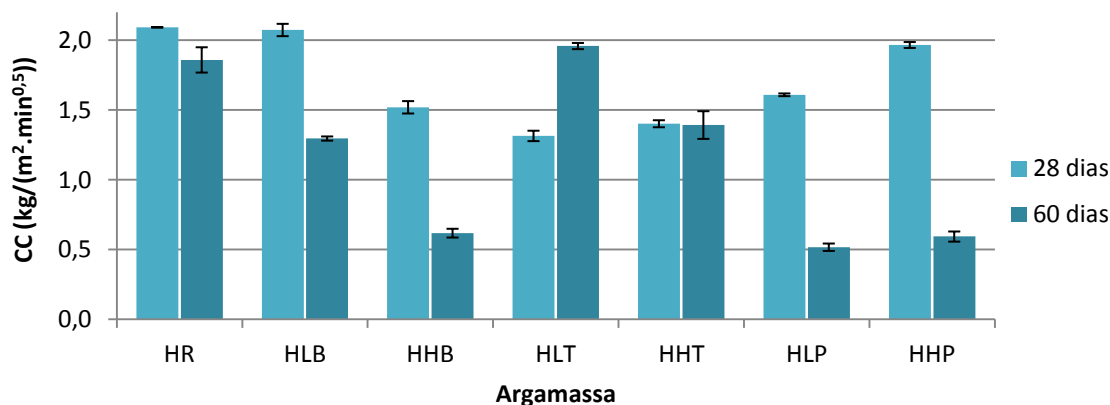


Figura 6 – Coeficiente de Capilaridade

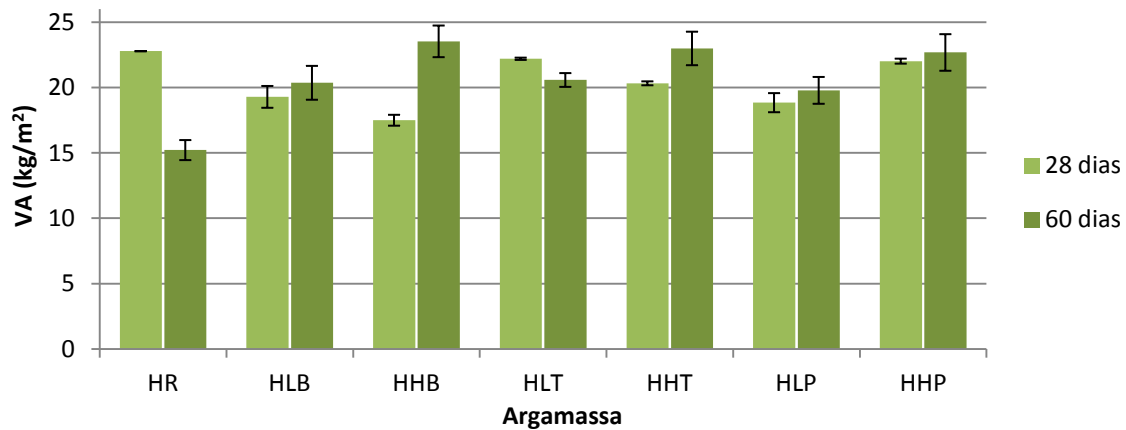


Figura 7 – Valor Assintótico

Verificou-se que, tendencialmente, o coeficiente de capilaridade reduz dos 28 para os 60 dias, o que se traduz numa absorção de água mais lenta em idades mais avançadas. Salientam-se as argamassas com resíduo de tijolo (B) e vasos (P), cuja redução é mais evidente. No caso das telhas, mais concretamente no caso da argamassa com baixa percentagem de telha, há um aumento da absorção por capilaridade, que contraria a tendência geral. O comportamento das argamassas com este tipo de resíduo poderá estar relacionado com a sua composição e eventuais tratamentos de impermeabilização efetuados sobre o produto inicial.

No que diz respeito ao valor assintótico, não se observam grandes variações. Verifica-se que as argamassas com resíduos absorvem uma quantidade de água ligeiramente superior face à argamassa de referência (HR).

### Índice de Secagem

O índice de secagem foi determinado tendo como orientação o procedimento descrito por Brito<sup>(6)</sup>, sem impermeabilização das faces dos provetes. Foram utilizados os provetes resultantes do ensaio de determinação da absorção de água por capilaridade, após remoção do filme de impermeabilização e saturação completa dos mesmos. Durante o período de secagem, os provetes foram mantidos numa câmara climática a uma temperatura de  $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e uma humidade relativa de  $(50 \pm 5)\%$ . Foram efetuadas pesagens consecutivas, em períodos fixos, que permitiram determinar a curva de evaporação e avaliar a secagem das argamassas. O índice de secagem é tanto maior quando mais lenta for a secagem global. Na Figura 8 são apresentadas, a título

exemplificativo, as curvas de secagem das argamassas aos 60 dias de idade. Na Figura 9 é apresentado o índice de secagem, aos 28 e aos 60 dias.

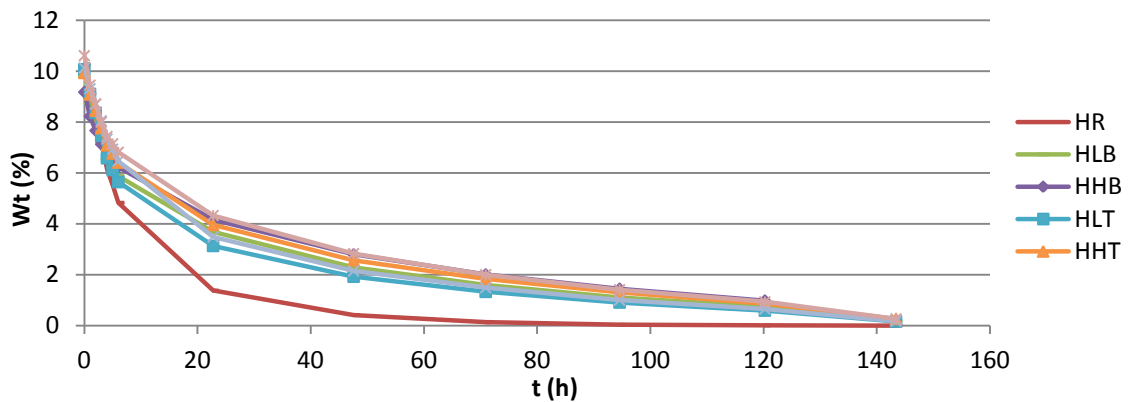


Figura 8 – Curvas de secagem aos 60 dias

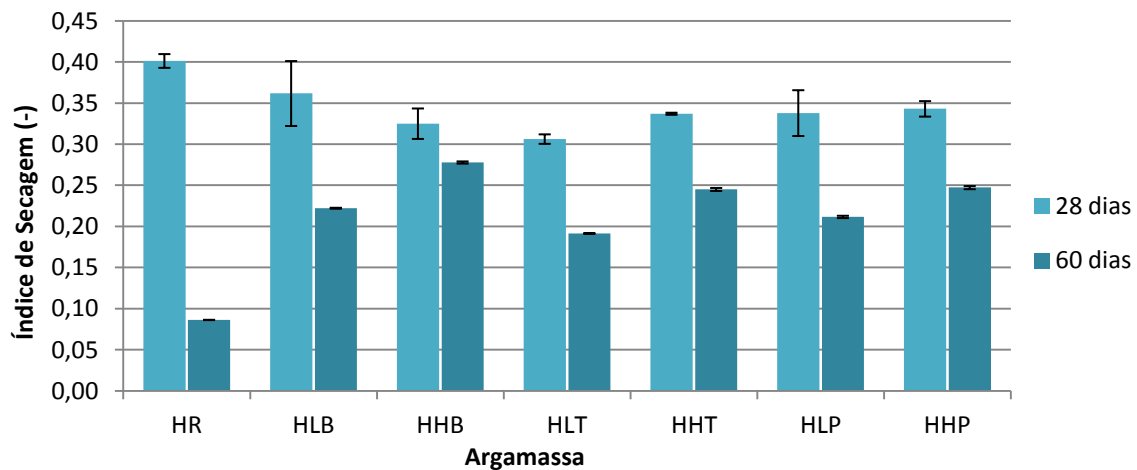


Figura 9 – Índice de secagem, aos 28 dias e aos 60 dias

Verifica-se a ocorrência de um decréscimo acentuado do índice de secagem ao longo do tempo, para todas as argamassas analisadas, o que significa que a secagem é mais facilitada aos 60 dias comparativamente com os 28 dias. Também é possível observar que, aos 60 dias a introdução crescente de resíduo tem tendência para dificultar ligeiramente a secagem global, ao contrário do que se tinha registado aos 28 dias de idade.

#### *Permeabilidade ao vapor de água*

A permeabilidade ao vapor de água, cujos resultados são apresentados na Figura 10, foi determinada de acordo com a norma ISO 12572:2001. Verificou-se que o método mais adequado ao material em questão seria o método da tina húmida. Foram

realizados ensaios aos 28 e aos 60 dias. O desvio padrão correspondente a cada argamassa está representado graficamente. Na Figura 11 é representado o valor obtido para a espessura da camada de ar equivalente (SD), em metros.

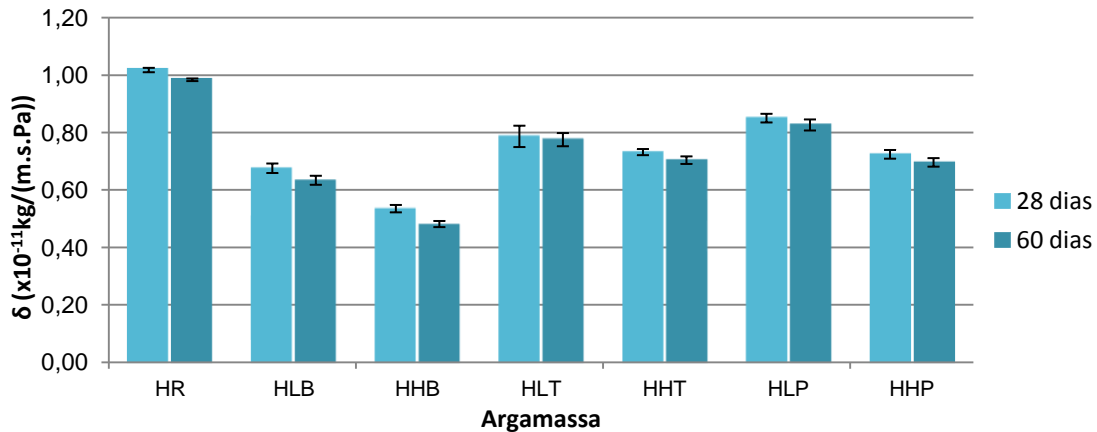


Figura 10 – Permeabilidade ao vapor de água

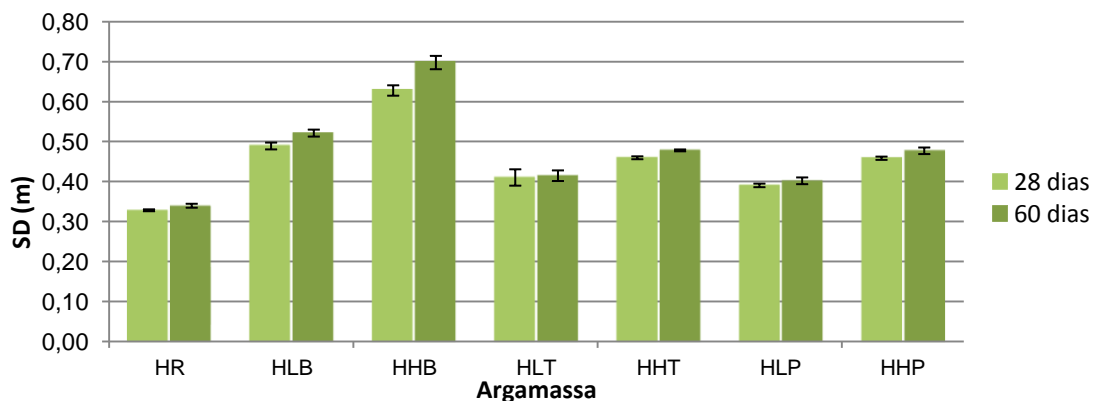


Figura 11 – Espessura da camada de ar equivalente

Da análise dos resultados podemos observar que não ocorreram variações significativas ao longo do período de cura. Todas as argamassas apresentaram permeabilidade inferior à argamassa de referência (HR), tendo as argamassas com percentagem mais elevada de resíduos apresentado uma permeabilidade ao vapor de água ligeiramente inferior às argamassas com menor percentagem de resíduo, talvez devido à presença de uma quantidade superior de pó e uma maior compactação. Estas variações não foram consideradas, contudo, significativas. Relativamente à espessura da camada de ar equivalente, a evolução é similar à permeabilidade ao vapor de água (mantendo-se inversamente proporcional), sendo que a argamassa com percentagem elevada de resíduo de tijolo (HHB) é aquela que demonstra o valor mais acentuado.

Os resultados da permeabilidade ao vapor de água parecem encontrar-se em consonância com os da secagem aos 60 dias de idade das argamassas.

### 3. CONCLUSÕES

Após conclusão do estudo efetuado, verificou-se que parece existir viabilidade na inclusão de resíduos provenientes da indústria cerâmica em argamassas de cal hidráulica natural. Os desempenhos obtidos, face a uma argamassa de referência, sem qualquer tipo de adição, não só foram satisfatórios em termos de comportamento face à água líquida e na forma de vapor, como introduziram melhorias nalgumas características estudadas, nomeadamente em mecânicas para aplicação em suportes com características similares. As argamassas com resíduos, sobretudo com uma percentagem de substituição do agregado da ordem dos 20 %, em volume, apresentaram, em todos os aspetos estudados, características bastante adequadas à aplicação em situações de reparação/substituição de argamassas de edifícios antigos<sup>(7)</sup>, enquanto a percentagem de substituição superior (40 %) pode ser mais adequada para suportes novos, com resistências mais elevadas.

Em termos globais, é a argamassa com percentagem mais reduzida de resíduo de tijolo (HLB) aquela que melhor satisfaz os requisitos bibliográficos para aplicação em reboco. Contudo, em termos de comportamento face à presença de água, as argamassas com resíduo de telha revelam, também estas, resultados bastante satisfatórios, que poderão ser condicionados pelo tipo de tratamentos eventualmente utilizados na produção destes artigos.

O aumento das resistências mecânicas ao longo do tempo poderá indicar algum tipo de reatividade pozolânica, que deverá ser comprovada com estudos adicionais de pozolanicidade realizados ao pó de resíduo utilizado.

Por todas as vantagens mencionadas neste trabalho, considera-se que as argamassas estudadas têm potencial de utilização e produção em massa. No entanto, está em curso uma campanha experimental paralela, quer para caracterização de materiais, quer para caracterização de argamassas com outras variações de constituintes (nomeadamente nas dosagens e tipo de ligante), uma vez que será necessário um

conhecimento mais aprofundado a respeito destas argamassas para se poder avançar para a sua produção e utilização.

#### 4. REFERÊNCIAS

1. FARIA-RODRIGUES, P.; HENRIQUES, F. **Current mortars in conservation: an overview.** Int. J. for Restoration 10:6 (2004) P. 609-622.
2. BOKE, H.; AKKURT, S.; IPEKOGLU, B.; UGURLU, E. **Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters.** Cement and Concrete Research 36 (2006), p. 1115 – 1122.
3. BINICI, H. **Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties.** Construction and Building Materials 21 (2007), pág. 1191-1197, Elsevier Ltd..
4. RATO, V. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (2006). Lisboa.
5. ANDRADE, I., **Produção de resíduos na indústria cerâmica – Região Centro 2003.** Região Centro: CCDRC(2004).
6. BRITO, V., Gonçalves, T., Faria, P., **Coatings applied on damp building substrates: performance and influence on moisture transport.** J. Coat. Technol. Research. ISSN: 1547-0091.8:4 (2010) 513-525. 10.1007/s11998-010-9319-5.
7. VEIGA, M., Fragata, A., Velosa, A., Magalhães, A. e Margalha, G., **Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings.** International Journal of Architectural Heritage (2010), 4. p. 177–195.