



DOSSIER
Betões e argamassas com agregados reciclados

CONVERSAS
Ravindra K. Dhir

PUB

10 years
adding quality to
your systems

 **ITeCons**
www.itecons.uc.pt

8_12

BETÕES E ARGAMASSAS COM AGREGADOS RECICLADOS DURABILIDADE DE ARGAMASSAS COM RESÍDUOS DE CERÂMICA PARA REABILITAÇÃO DE REBOCOS

No passado, era comum o recurso a fragmentos de cerâmica na produção de argamassas de revestimento. No entanto a cerâmica atual é produzida de forma distinta de antigamente. A incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de reabilitação pode ser vantajosa do ponto de vista técnico, se estas apresentarem um desempenho melhorado enquanto argamassas de reabilitação, e do ponto de vista ambiental, pela reintrodução de resíduos no processo produtivo e consequente redução do volume de resíduos a depositar em aterro.

Apresenta-se uma análise da durabilidade de argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural com resíduos provenientes da cerâmica da construção, através da avaliação do seu comportamento aos 60 dias de idade e após envelhecimento artificial e *in situ*, assim como da resistência ao ataque por sais à idade de 1 ano. Verifica-se que a introdução dos resíduos de cerâmica indicia ser vantajosa para o desempenho das argamassas, em termos aderência, coesão superficial, absorção de água e, particularmente no caso das argamassas de cal aérea, face ao ataque de sais.

1. INTRODUÇÃO

Diversos estudos realizados em escavações arqueológicas e edifícios antigos demonstram que era frequente, no passado, o recurso a argamassas de cal com incorporação de fragmentos de cerâmica [1]. A incorporação deste tipo de subprodutos permitia melhorar o comportamento e durabilidade das argamassas. No período do Império Romano, esta técnica é divulgada e disseminada um pouco por toda a Europa e noutros continentes, com a designação de *opus testaceum* ou *cocciopesto* [2]. Os resíduos de cerâmica conferem às argamassas de cal propriedades hidráulicas, que permitem a sua aplicação em elementos expostos a condições de humidade elevada (aquedutos, reservatórios, fundações) [3,4]. Apesar de o

recurso a esta técnica ter desaparecido com o surgimento dos ligantes hidráulicos, as argamassas de cal com cerâmica revelaram-se um produto de durabilidade elevada, o que se pode comprovar pela facilidade com que ainda hoje é possível encontrar este tipo de revestimentos em edifícios antigos.

Anualmente, são desperdiçadas, pela indústria cerâmica, toneladas de resíduos. São ainda escassas as indústrias com capacidade para reintegrar na linha de produção os materiais desperdiçados devido a pequenos defeitos como fendas ou empenamento. Em Portugal, as indústrias de cerâmica produtoras de telhas, tijolos e porcelana geraram, em 2013, cerca de 98.535 toneladas de resíduos sólidos, sendo que aproximadamente 9.705 toneladas foram depositadas em aterro [5].

Gina Matias

ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção

Paulina Faria

CERIS, ICIST,

Departamento de Engenharia Civil da Universidade Nova de Lisboa

Isabel Torres

Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra

Considerando as vantagens associadas à incorporação de argilas submetidas a tratamento térmico em argamassas de cal [1], foi desenvolvida uma extensa caracterização laboratorial de argamassas de cal aérea e cal hidráulica natural com a incorporação de resíduos da indústria cerâmica de tijolos e telhas [6,7]. As composições com melhor desempenho físico-mecânico [6] foram selecionadas para o estudo da sua durabilidade, em condições de cura e idades distintas. Foram analisadas argamassas de cal aérea hidratada com uma proporção volumétrica de 1:2 (cal:agregado) e argamassas de cal hidráulica natural ao traço 1:4 (cal:agregado), nas quais o agregado comum, uma areia de rio, foi parcialmente substituído por resíduos da indústria cerâmica.

> Tabela 1: Argamassas analisadas - traços ligante:resíduo:areia e relação água/ligante.

Argamassa	Ligante		Agregado			Traço Volumétrico	Traço Ponderal	Relação água/ligante
	CL90	NHL3,5	B	T	Areia			
2A_R	1	-	-	-	2	1:2	1:8,5	1,7
2A_HB	1	-	0,8	-	1,2	1:0,8:1,2	1:2,4:5,1	1,9
2A_HT	1	-	-	0,8	1,2	1:0,8:1,2	1:2,6:5,1	1,7
4H_R	-	1	-	-	4	1:4	1:7,6	1,2
4H_MB	-	1	1,2	-	2,8	1:1,2:2,8	1:1,6:5,3	1,4
4H_MT	-	1	-	1,2	2,8	1:1,2:2,8	1:1,7:5,3	1,3

2. ARGAMASSAS – COMPOSIÇÕES E PROVETES

As argamassas utilizaram como ligante cal aérea hidratada CL90 (A) e cal hidráulica natural NHL 3,5 (H) (NPEN 459-1). Os resíduos de tijolo (B) e telha (T), após passarem por um moinho de maxilas, ficaram com granulometria semelhante à da areia. Para além das argamassas de referência, sem qualquer tipo de resíduo, 2A_R e 4H_R, foram preparadas argamassas de cal aérea e de NHL com substituições, respetivamente, de 40% e 30% da areia de rio por resíduo. Na Tabela 1 são indicados os traços selecionados, bem como a relação água/ligante para consistência de 150 ± 10 mm.

Foram preparados provetes de argamassa sobre tijolo furado e painéis de reboco foram aplicados na fachada exterior de um edifício antigo,

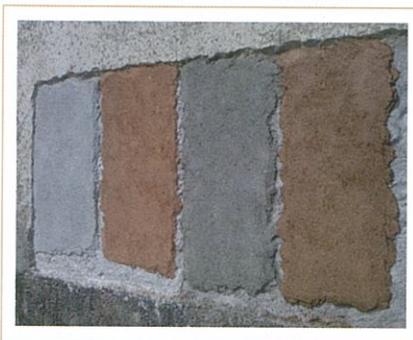
com uma camada de crespido entre a alvenaria e a argamassa de base, tal como apresentado na Fig.1. Em ambos os casos foi aplicada uma camada de argamassa com 10 mm de espessura. Realizaram-se ensaios de laboratório (provetes em tijolo) e *in situ* (painéis) ao fim de 60 dias de cura. Os ensaios foram repetidos após ciclos de envelhecimento em laboratório, segundo a EN 1015-21, e *in situ* aos 500 dias de idade. Para a durabilidade a sais foram utilizadas metades de provetes prismáticos com cerca de 40 mm x 40 mm x 80 mm e 1 ano de idade em cura em condições de laboratório.

3. ENSAIOS E RESULTADOS

Em termos de aspeto visual verificou-se que a

utilização dos resíduos confere uma pigmentação natural às argamassas, mais forte no caso das argamassas de cal aérea por esta cal ser mais clara. Esta pigmentação natural, inserida na espessura de toda a camada de argamassa, pode constituir uma importante mais-valia. Após aplicação de uma camada de acabamento de argamassa, poderia ser dispensada aplicação de um revestimento por pintura. Nas aplicações *in situ* não foi registado qualquer indício de fendilhação ou destacamento após 500 dias de cura. Verificou-se apenas um ligeiro escurecimento nalgumas zonas da superfície das argamassas com resíduos de cerâmica face ao registado aos 60 dias, como se pode observar na Fig.2.

A determinação da resistência adesiva foi realizada de acordo com a norma EN 1015-12



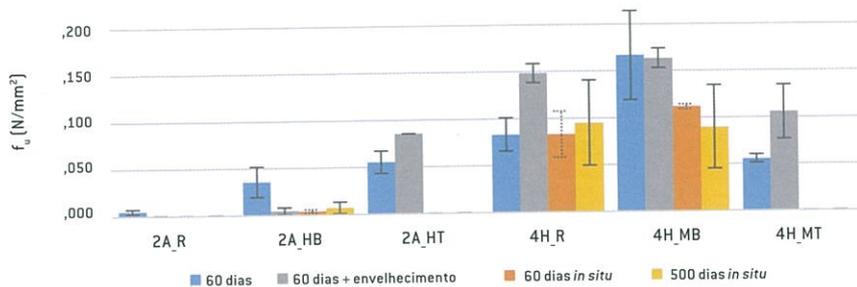
> 1



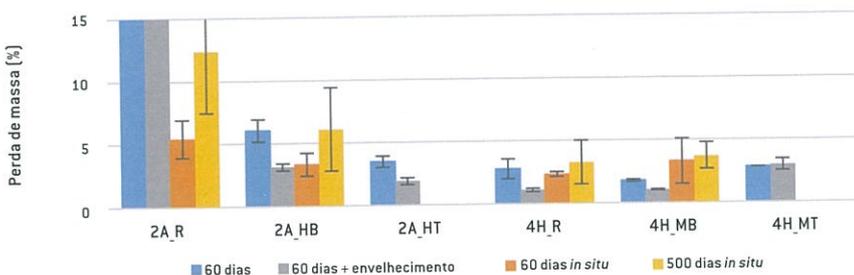
> 2

> Figura 1: Aplicação de argamassas *in situ* – da esquerda para a direita: rebocos de cal aérea sem e com resíduos; de cal hidráulica natural sem e com resíduos.

> Figura 2: Aspeto visual das argamassas aplicadas *in situ*: esquerda – 2A_HB aos 60 dias (cima) e aos 500 dias (baixo); direita – 4H_MB aos 60 dias (cima) e aos 500 dias (baixo).



> 3



> 4

nos provetes de tijolo e painéis. Na Fig.3 são apresentados os resultados obtidos para a resistência adesiva nas várias condições mencionadas, bem como os respetivos desvios-padrão.

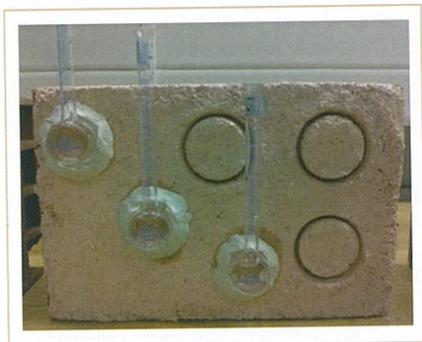
Tal como esperado, as argamassas de NHL (4H) apresentaram resistências adesivas superiores às argamassas de cal aérea. No caso específico da argamassa de referência de cal

aérea (2A_R) não foi possível obter resultados em laboratório após envelhecimento nem *in situ* devido ao destacamento prévio das argamassas. Para este grupo de argamassas (cal aérea), a composição com resíduos de telha, sobre a qual foram realizados apenas ensaios em laboratório, apresentou resultados próximos dos das argamassas de NHL. Verificou-se ainda que, na maioria dos casos,

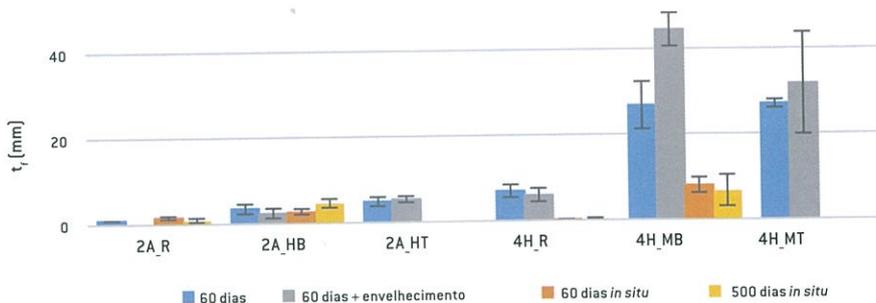
as resistências obtidas após envelhecimento foram superiores, possivelmente devido aos períodos de imersão dos ciclos de envelhecimento. Aos 500 dias de cura não foram observadas variações significativas face às idades mais jovens. Embora os desvios-padrão registados sejam representativos, a presença de resíduos de cerâmica induz, tendencialmente, um aumento da resistência adesiva das argamassas.

Para determinação da coesão superficial foi utilizada fita adesiva com 10 mm x 50 mm, avaliando-se a massa destacada, C_s, com uma resolução de 0,0001g [8]. Na Fig.4 são apresentados os resultados médios e os desvios-padrão.

A argamassa que apresentou um destacamento de material superficial mais representativo foi a argamassa de referência de cal aérea (2A_R). Para este grupo (2A), a presença de resíduos conferiu uma coesão superficial consideravelmente superior. Nestes casos, as argamassas apresentaram melhores resultados após ciclos de envelhecimento, possivelmente pela mesma razão que levou ao aumento da resistência adesiva. No caso das argamassas com cal hidráulica (4H) não se registaram diferenças significativas entre composições e condições de cura. Os desvios-padrão registados, sobretudo nos ensaios *in situ*, não permitem avaliar detalhadamente as variações obtidas entre composições e condições de cura.



> 5



> 6

- > Figura 3: Resistência adesiva em laboratório e *in situ*.
- > Figura 4: Coesão superficial em laboratório e *in situ*.
- > Figura 5: Absorção de água sob baixa pressão – ensaio laboratorial.
- > Figura 6: Absorção de água sob baixa pressão em laboratório e *in situ*.

A absorção de água sob baixa pressão foi avaliada com recurso a tubos de Karsten, com base na EN 16301. Os tubos foram fixados aos provetes, posicionados na vertical, com uma massa flexível (Fig.5). Na Fig.6 são apresentados os resultados obtidos para o período de tempo em que cada argamassa absorveu 4 ml de água.

Em geral, verificou-se que a absorção de água das argamassas de cal sob baixa pressão ocorreu de forma bastante rápida. As velocidades de absorção das composições com cal aérea (2A) foram bastante superiores às restantes, e também próximas da argamassa de NHL de referência (4H_R). Para o conjunto de argamassas de NHL verificou-se uma diminuição da velocidade de absorção de água, mais evidente para os provetes submetidos a ciclos de envelhecimento em laboratório. É, contudo, evidente, sobretudo no caso das argamassas

de NHL, que a presença de resíduos reduz significativamente a absorção de água.

A avaliação da resistência aos sulfatos das argamassas de cal foi efetuada com base na norma NP EN 12370, com algumas adaptações [9]. Foi aferida a perda de massa dos provetes no fim de ciclos de imersão em solução com sulfatos e secagem, até ser atingida uma perda de massa superior a 90%. Na Fig.7 são apresentadas as curvas relativas às variações de massa das argamassas ao longo do ensaio.

Verifica-se que as argamassas com cal aérea e resíduos apresentam um comportamento semelhante ao da argamassa NHL sem resíduos, e com perdas de massa bastante inferiores às restantes (cerca de 40%) ao fim de 8 ciclos. No caso das argamassas de cal aérea a incorporação de resíduos é assim benéfica enquanto essa mesma introdução é

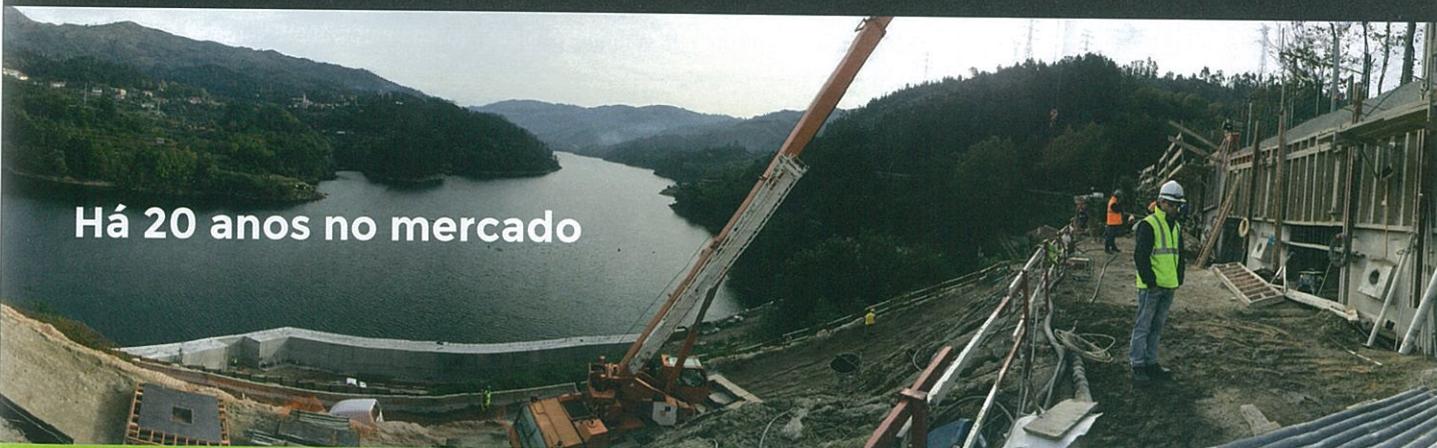
prejudicial no caso das argamassas com NHL. Para avaliação da resistência aos cloretos foi utilizada uma solução com cloreto de sódio para saturação inicial dos provetes [9], a que se seguiram ciclos de 6h, com humidade relativa a 40% e a 90%. O registo da massa dos provetes foi efetuado de 6 em 6 ciclos, tendo sido realizados 50 ciclos. Na Fig.8 são apresentadas as curvas da variação de massa das argamassas ao longo dos ciclos.

Verificou-se que as argamassas de cal aérea com resíduos apresentam perdas de massa mais reduzidas do que as argamassas de NHL, mesmo sem resíduos. À semelhança do ataque por sulfatos, a introdução de resíduos é benéfica para as argamassas de cal aérea e prejudicial para as de NHL.

Contudo, para todas as argamassas, a perda de massa não é muito significativa ao fim de 50 ciclos térmicos.

SENQUAL

SOCIEDADE DE ENGENHARIA E QUALIDADE, LDA.



Há 20 anos no mercado

CONSULTORIA E CONTROLO DE QUALIDADE DE MATERIAIS E PROCESSOS DE CONSTRUÇÃO.

- Laboratório central em Vila Nova de Gaia
- Laboratórios a instalar em obra
- Laboratório móvel: equipado de acordo com os ensaios a realizar

PRINCIPAIS MATERIAIS ENSAIADOS

- Pedra natural, agregados, enrocamentos, solos, betão, caldas, argamassas, cimentos, adições, misturas betuminosas

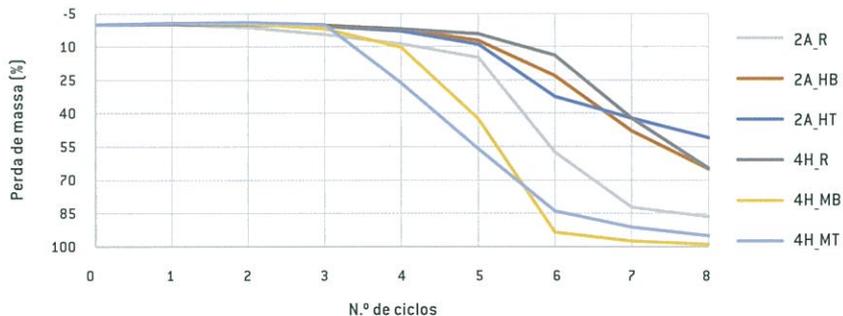
Para uma informação detalhada sobre os nossos serviços, ensaios e portfólio, visite a nossa página na Internet: www.senqual.pt

SEDE

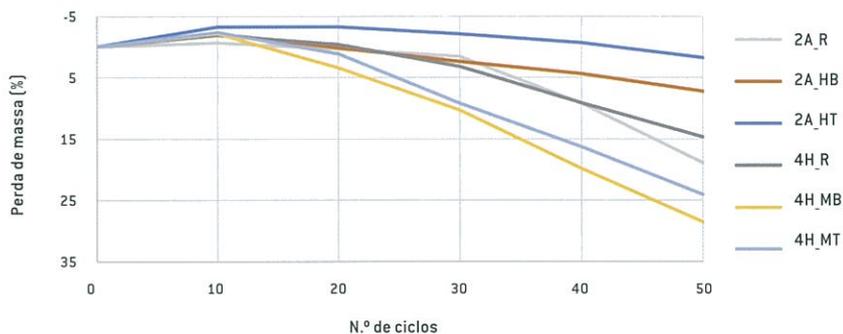
Rua 19, 286
4500-255 Espinho
T.: 227346825
F.: 227319116
E.: geral@senqual.pt

LABORATÓRIO CENTRAL

Rua do Carvalhal, 96
4405-543 Vila Nova de Gaia



> 7



> 8

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para avaliar a durabilidade de argamassas com resíduos de cerâmica para a reabilitação de edifícios foi realizada a campanha experimental descrita. Foram utilizados dois tipos de ligante, mais compatíveis com os materiais existentes em paredes antigas: cal aérea hidratada e cal hidráulica natural. Uma parte significativa do agregado comum, uma areia de rio, foi substituída por resíduos industriais de tijolo e telha. Foram preparados provetes para caracterização em laboratório e *in situ*. Para além do comportamento hidráulico anteriormente detetado nas argamassas de cal aérea com resíduos, que lhes possibilita aplicação mesmo em condições de elevada humidade relativa e fraco contacto com CO₂ [6, 7], com o estudo apresentado foi possível concluir os seguintes aspetos principais:

- a substituição parcial de areia por resíduo

permite uma redução nos volumes utilizados de areia natural na produção de argamassas e uma redução dos volumes de resíduos a gerir pelas empresas, com benefícios ambientais;

- a utilização dos resíduos confere às argamassas uma pigmentação natural, que pode ser importante também em termos de durabilidade do reboco;
- os ensaios *in situ* apresentam uma grande variabilidade, que obriga à recolha de resultados de uma amostra mais alargada;
- a diferenciação entre argamassas é reduzida entre os dois tipos de resíduos utilizados mas elevada relativamente às cais;
- a incorporação de resíduos confere às argamassas resistências mecânicas mais elevadas;
- curas húmidas mais extensas indiciam melhorar o desempenho mecânico e físico das argamassas de cal, mesmo em condições

- de secagem e humedecimento cíclicos;
- a absorção de água sob baixa pressão é inferior para as argamassas com resíduos, sobretudo no caso das argamassas de cal hidráulica natural;
- nas argamassas de cal aérea a introdução de resíduos aumenta a resistência ao ataque por sais, resultando argamassas mais resistentes comparativamente às argamassas com cal hidráulica natural.

Em termos globais, verifica-se que a incorporação de resíduos de cerâmica em argamassas de cais é vantajosa não só em termos ambientais mas também por via da sua durabilidade, uma vez que a caracterização destas argamassas permitiu observar uma melhoria do seu comportamento. ■

5. REFERÊNCIAS

- [1] Matias, G., Faria, P., Torres, I. – "Lime mortars with heat treated clays and ceramic waste: A review", *Construction and Building Materials* 73, 125-136, 2014.
- [2] Baronio, G., Binda, L., Lombardini, N. – "The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks", *Construction and Building Materials* 11, 33-40, 1997.
- [3] Budak, M., Akkurt, S., Böke, H. – "Evaluation of heat treated clay for potential use in intervention mortars", *Applied Clay Science* 49, 414-419, 2010.
- [4] Böke, H., Akkurt, S., İpekoğlu, B., Uğurlu, E. – "Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters", *Cement and Concrete Research* 36, 1115-1122, 2006.
- [5] E-PRTR. The European Pollutant Release and Transfer Register: <http://prtr.ec.europa.eu/#/wastetransfers>. European Environment Agency (EEA), Copenhagen, Denmark. Last accessed in 13-12-2015.
- [6] Matias, G. - "Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica", Tese de Doutoramento, Universidade de Coimbra, 2014.
- [7] Matias, G., Faria, P., Torres, I. – "Lime mortars with ceramic wastes: Characterization of components". *Construction and Building Materials* 73, 523-534, 2014.
- [8] Faria, P., Santos, T., Aubert, J.-E. – "Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 04015085-1 - 04015085-9, 2015.
- [9] Faria-Rodrigues, P. - "Resistance to salts of lime and pozzolan mortars". In *RILEM Proceedings pro 067 -International RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry* (A), C.Groot, Ed., RILEM Publications on-line, 99-110, 2009.

> Figura 7: Variação de massa ao longo de ciclos de imersão-secagem com sulfatos.

> Figura 8: Variação da massa ao longo de ciclos de variação de humidade após contaminação com cloretos.