

Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais



Maria Idália Gomes
ISEL/IPL
Portugal
idaliagomes@dec.isel.ipl.pt



Teresa Diaz Gonçalves
LNEC
Portugal
teresag@lnec.pt



Paulina Faria
FCT/UNL
Portugal
paulina.faria@fct.unl.pt

Resumo: Pretende-se desenvolver e caracterizar argamassas de terra eficientes para reparar anomalias em paredes de taipa. As argamassas estudadas utilizam uma terra comercial (constituída maioritariamente por argila), bem como outros componentes, nomeadamente areia, cal aérea ou cal hidráulica e fibras vegetais. Estas argamassas foram caracterizadas, no estado fresco, em termos de consistência por espalhamento e massa volúmica aparente e, no estado endurecido, relativamente à retracção linear e volumétrica, absorção de água por capilaridade, secagem, módulo elasticidade dinâmico e resistência à tracção por flexão e à compressão.

Palavras-chave: argamassas de terra, cal área, cal hidráulica natural, fibras vegetais, ensaios de caracterização.

1. INTRODUÇÃO

Existe um património edificado de taipa bastante significativo em Portugal. Parte desse património encontra-se ao abandono, necessitando de conservação. Nas últimas décadas começaram também a surgir novas construções de taipa, devido às vantagens ambientais deste tipo de construção e às suas boas características térmicas e acústicas. Verifica-se porém que, especialmente na reabilitação e manutenção, não são muitas vezes tomadas em consideração as exigências de compatibilidade entre materiais. Este facto deve-se em larga parte ao desaparecimento do chamado “saber-fazer” (em termos de práticas de construção e de manutenção).

É bastante comum verem-se edifícios de taipa onde foi efectuada a aplicação de argamassas de uso corrente, com base em cimento, na tentativa de colmatar lacunas decorrentes da degradação, mais ou menos profunda, das paredes. Esta prática veio a

comprovar-se desastrosa [1,2], tendo estas intervenções levado ao agravamento da degradação existente ou ao aparecimento de novos problemas.

Para este fim, eram no passado utilizadas normalmente argamassas de terra, mas a experiência do seu uso perdeu-se. O desenvolvimento de estudos sobre argamassas de terra é, assim, um caminho interessante que poderá vir a permitir ultrapassar os actuais problemas. Permitirá a utilização de materiais sustentáveis e similares aos ancestrais, portanto, com boa compatibilidade com as construções a reparar, com a vantagem de possuírem comportamento e durabilidade conhecidos e comprovados.

Pretende-se com esta comunicação divulgar os resultados obtidos até à data no âmbito de um trabalho de investigação que visa o desenvolvimento de argamassas de terra para reparação de paredes de taipa. Estas argamassas são baseadas numa terra comercial com elevada percentagem de argila e incluem ainda areia, uma pequena percentagem de cal aérea em pó ou cal hidráulica natural e, eventualmente, fibras vegetais.

2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As argamassas de terra baseiam-se numa terra comercial, que aqui se denominará terra-padrão, e areia, ao traço volumétrico de 1:3 (terra-padrão:areia grossa). Para além da argamassa de referência, só de terra e areia, foram formuladas outras famílias de argamassas com eventual adição de fibras vegetais e de cal aérea ou de cal hidráulica natural, cujas composições se apresentam na Tabela 1.

A análise experimental das argamassas, realizada à idade de 90 dias, compreendeu a caracterização das mesmas: (i) no estado fresco, através da determinação da consistência por espalhamento e da massa volúmica aparente; (ii) no estado endurecido, através da determinação da retracção linear e volumétrica, absorção de água por capilaridade, secagem, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e à compressão.

Note-se que diversos destes ensaios não são facilmente aplicáveis a argamassas de terra, devido à baixa resistência mecânica e sensibilidade à acção da água destas, o que obrigou à realização de numerosos testes preliminares e à adaptação dos protocolos de ensaio.

3. MATERIAIS E PROVETES

3.1 Materiais

A terra-padrão foi obtida no mercado, tendo sido seleccionada de entre alguns materiais colocados à disposição pela empresa Sorgila - Sociedade de Argilas. Com base em dados fornecidos pela empresa, relativos à composição mineralógica por difracção de raio X (DRX) e granulometria, seleccionaram-se, de entre as terras com argilas reconhecidamente de baixa expansibilidade, as três que continham maior percentagem de finos, para mais facilmente serem compatibilizadas com outros materiais. Depois, submetem-se estas três terras ao ensaio de retracção linear cujo método se descreve na secção 4. Seleccionou-se como terra-padrão o material proveniente da zona de Redinha - Pombal que revelou possuir uma menor retracção.

A terra-padrão foi primeiro sujeita a moagem em moinho de maxilas, de forma a desagregar os torrões inicialmente presentes, sendo depois homogeneizada com o auxílio de um repartidor [3]. A caracterização desta terra foi realizada através da determinação da sua granulometria [4], baridade [5] e composição mineralógica (por DRX). A baridade é de 1136,4 kg/m³, apresentando-se os restantes resultados na Figura 1 e na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição dos seis grupos de argamassas

Grupos	Designação da argamassa	Traço Vol.	Ligante		Fibras (%)*	Relação água/material seco (%)
			Cal área (%)*	Cal hidráulica (%)*		
Terra-padrão	ATP		-	-	-	31
Terra-padrão com fibras	ATP_Fib		-	-	5	34
Terra-padrão com cal aérea	ATP_CA5	1:3 (terra-padrão:areia grossa)	5	-	-	30
	ATP_CA10		10	-	-	
	ATP_CA15		15	-	-	
Terra-padrão com cal área e fibras	ATP_CA5_Fib		5	-	5	33
	ATP_CA10_Fib		10	-	5	
	ATP_CA15_Fib		15	-	5	
Terra-padrão com cal hidráulica	ATP_CH5		-	5	-	29
	ATP_CH10		-	10	-	
	ATP_CH15		-	15	-	
Terra-padrão com cal hidráulica e fibras	ATP_CH5_Fib		-	5	5	32
	ATP_CH10_Fib	-	10	5		
	ATP_CH15_Fib	-	15	5		

* Percentagem relativa à massa da terra-padrão.

Tabela 2 - Composição mineralógica das amostras de terra-padrão obtidas por DRX

Compostos cristalinos identificados	Terra-padrão
Quartzo	+++
Feldspatos	Vtg
Mica	Vtg
Clorite	?
Caulinite	++
Geotite	+
Anatase	+/Vtg

Notação: +++ proporção elevada; ++ proporção média; + proporção fraca; Vtg vestígios; ? dúvidas na presença; - não identificado.

Na formulação das argamassas, a terra padrão foi sempre estabilizada com areia, numa composição volumétrica de 1:3 (Tabela 1). A adição da areia, grossa (0,6 - 2 mm [6]) e mineralogicamente quartzosa, teve como principal objectivo diminuir a retracção que era elevada, uma vez que a terra-padrão é constituída essencialmente por argila. A areia utilizada é extraída de uma pedreira localizada em Colmeias, Leiria, e foi também disponibilizada pela empresa Sorgila.

A areia foi caracterizada através da curva granulométrica [4] (Figura 1) e da baridade [5], sendo esta de 1429,9 kg/m³.

Nas argamassas, foram ainda utilizados dois tipos de ligante: cal aérea hidratada em pó Lusical H100, com uma baridade 329,1 kg/m³ [5] ou cal hidráulica natural Secil NHL 5, com uma classe de resistência à compressão aos 28 dias de 5-15 MPa [7] e uma baridade [5] de 761,5 kg/m³. As argamassas foram realizadas com adição de 0%, 5%, 10% ou 15% de ligante, com ou sem 5% de fibras vegetais (percentagens em relação à massa da terra). Utilizaram-se fibras de cânhamo, tal e qual o fornecido pela empresa Francesa Aubiose - "Producter exclusif cooperative agricole la chanvriere de l'aube".

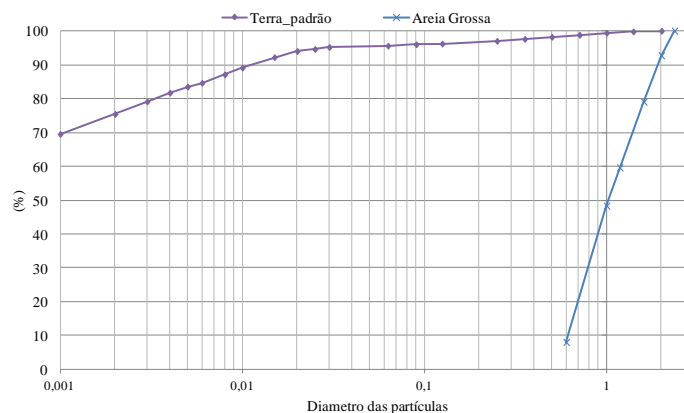


Figura 1 - Curvas granulométricas da terra-padrão e da areia grossa

3.2 Execução das argamassas

Na amassadura das argamassas seguiu-se, tanto quanto possível, a norma NP EN 196-1:2006 [8], não obstante esta norma não abranger especificamente argamassas de reparação ou argamassas de terra. Utilizou-se uma misturadora mecânica, constituída por uma cuba de aço inoxidável com capacidade de 3 l e uma pá misturadora accionada por um motor eléctrico. Foi necessário aumentar o tempo da mistura porque a grande percentagem de argila presente na mistura dificultava a homogeneização do material.

Assim, a metodologia utilizada foi a seguinte:

- (i) homogeneização manual da terra;
- (ii) introdução da água na cuba, seguida da introdução da terra;
- (iii) mistura manual, durante 2 minutos (esta fase foi necessária para o humedecimento uniforme da terra; caso contrário, mesmo em velocidade lenta, a mistura, como ainda se encontrava bastante heterogénea em termos de humedecimento, salpicava e perdia-se massa);
- (iv) amassadura com a misturadora em velocidade lenta, durante 150 segundos;
- (v) paragem da misturadora durante 90 segundos; nos primeiros 15 segundos, com uma espátula de borracha, era removida a argamassa aderente às paredes da cuba, juntando-a à restante;
- (vi) continuação da amassadura, a velocidade lenta, durante mais 60 segundos.

3.3 Cura das argamassas

A norma NP EN 1015-11 [9] foca as condições de cura de diversos tipos de argamassa (de cimento, cal, entre outros) mas não daquelas cujo ligante é a argila (argamassas de terra). Não obstante, uma vez que não existe alternativa, procurou seguir-se o método recomendado para argamassas de cal.

A norma indica para todos os casos uma cura húmida de 7 dias, com o provete 2 ou 5 dias dentro do molde, dependendo do tipo de argamassa. No presente caso, contudo, verificou-se que os provetes não endureciam o suficiente para poderem ser desmoldados ao fim de 5 dias. Note-se que a maior percentagem de cal (aérea ou hidráulica) destas argamassas é de apenas 15% relativamente à massa de terra-padrão, ou seja, cerca de 3% relativamente à massa total de material. Assim, optou-se por manter os provetes no molde durante os 7 dias da cura húmida (dentro de um saco fechado de polietileno). Depois, os provetes eram retirados do saco, mantendo-se dentro do molde na sala condicionada (a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm$

5% HR) durante mais 7 dias. Após este período eram desmoldados, mantendo-se na mesma sala até completarem os 90 dias. As argamassas que incluíam cal aérea foram ainda sujeitas, ao fim de 28 dias, a 7 dias em câmara de carbonatação (5% CO₂, 21 ± 2°C e 71 ± 2 % HR) para garantir a total carbonatação da cal.

3.4 Provetes

Os ensaios de absorção de água por capilaridade e de secagem foram realizados sequencialmente sobre 6 provetes cúbicos (dimensões de 50×50×50 mm) de cada argamassa. Os ensaios de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e resistência à compressão foram realizados, também sequencialmente, sobre 6 provetes prismáticos (dimensões de 40×40×160 mm) de cada argamassa.

4 Ensaios de caracterização das argamassas

O **ensaio de consistência por espalhamento** é um dos ensaios mais utilizados para avaliar as propriedades das argamassas no seu estado fresco e foi realizado através do procedimento descrito na norma CEN EN 1015-3 e respectivos aditamentos [10]. Foram efectuados duas determinações de espalhamento por amassadura, sendo resultado do ensaio dado pela média destes dois valores.

A **massa volúmica aparente** (ρ) de um material é o quociente entre a sua massa e o volume que ela ocupa. Esta propriedade das argamassas foi determinada pelo procedimento descrito na norma CEN EN 1015-6:1998 [3]. Foram realizadas duas determinações da massa volúmica aparente por amassadura. O resultado final é dado pela média dos dois valores.

A **retracção** linear dos materiais de terra crua é comumente avaliada através do ensaio de *Alcock* (também designado por ensaio da caixa de retracção). Este ensaio é referido por vários autores, normas e regulamentos [1, 11, 12, 13]. Contudo, a metodologia de ensaio indicada nos diferentes documentos é bastante díspar, nomeadamente quanto à dimensão da caixa, ao teor de humidade da terra, ao material utilizado e ao tempo de secagem. Estes aspectos encontram-se detalhadamente discutidos em Gomes *et al.* [14]. No presente caso, optou-se pela utilização de uma caixa em contraplacado marítimo com dimensões internas planas de 300×30 (mm) e altura interna de 30 mm (270 cm³ de volume). As superfícies internas da caixa foram lubrificadas com óleo descofrante. A argamassa foi colocada dentro das caixas, compactando-a ligeiramente com um pilão de plástico. A superfície foi nivelada, rasando-a com uma espátula para remover o excesso de argamassa. O molde preenchido foi depois colocado numa estufa ventilada, a uma temperatura de 40°C, até completa secagem da argamassa, ou seja, até se atingir massa constante (quando a diferença entre pesagens realizadas com um intervalo de 24 horas é inferior a 0,1% da massa seca).

Tendo-se verificado que a retracção dos provetes podia ser significativa não só segundo o seu comprimento mas também segundo as outras duas dimensões, optou-se por avaliar não apenas a retracção linear mas também a retracção volumétrica. Assim, foram efectuadas quatro medições da altura (h) e da largura (l) do provete (Figura 2) e uma medição do comprimento (L). O cálculo do volume do provete é feito considerando a média das quatro medições em altura e a média das quatro medições em largura.

A retracção linear (L_L) e a retracção volumétrica (L_V) são obtidas, em percentagem, pelas equações (1) e (2), respectivamente. Uma vez que se efectuaram três ensaios para cada

argamassa, o comprimento ($\text{Comprimento}_{\text{solo seco}}$) e o volume ($\text{Volume}_{\text{médio solo seco}}$) do solo após secagem correspondem à média dos valores obtidos nos três ensaios.

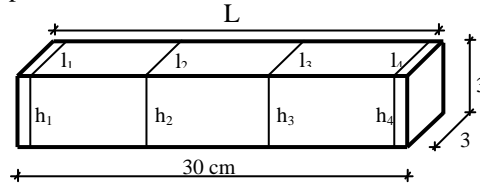


Figura 2 - Esquema das medições efectuadas no provete no ensaio de retracção

$$L_L = \frac{\text{Comprimento}_{\text{molde}} - \text{Comprimento}_{\text{solo seco}}}{\text{Comprimento}_{\text{molde}}} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

$$L_v = \frac{\text{Volume}_{\text{molde}} - \text{Volume}_{\text{médio solo seco}}}{\text{Volume}_{\text{molde}}} \times 100 \quad [\%] \quad (2)$$

Para a realização do **ensaio de absorção de água por capilaridade** seguiu-se o procedimento No. II.6 da RILEM [15], uma vez que este ensaio não se adequa a argamassas de terra, foi necessário adaptar o procedimento para evitar perdas de massa decorrentes da desagregação do material.

No ensaio, os provetes são secos em estufa a 40°C até massa constante, registando-se a sua massa seca. Depois, impermeabilizaram-se as quatro faces laterais utilizando uma mistura com proporção em massa de 50% de péz louro e 50% de cera de abelha. A face inferior dos provetes é coberta com tecido de algodão para evitar perda de material durante a fase de absorção ou mesmo durante o manuseamento. Os provetes são colocados em imersão parcial, ficando a altura da lâmina líquida cerca de 2-4 mm acima da base dos provetes. Através de pesagens periódicas, determina-se o aumento de massa ao longo do tempo.

O **ensaio de secagem** seguiu o procedimento No. II.5 da RILEM [16]. Teve início imediatamente após a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.

A face inferior dos provetes ainda saturados foi selada com folha de polietileno, colocando-se depois estes provetes a secar numa sala condicionada a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$ HR. Os provetes ficaram sempre afastados das paredes e de outros obstáculos que pudessem influenciar a circulação de ar e, assim, o processo de secagem.

A quantidade de água evaporada é avaliada através de pesagens periódicas, tendo-se utilizado uma balança com resolução de 0,001 g.

Para a determinação do **módulo de elasticidade dinâmico** recorreu-se ao método da ressonância forçada, com base na norma CEN EN 14146:2004 [17]. Esta norma aplica-se a pedra natural e padroniza os procedimentos necessários para a determinação da frequência fundamental de ressonância (1ª frequência natural) para uma vibração induzida na direcção longitudinal. Este ensaio foi realizado antes de os provetes serem submetidos aos ensaios de resistência à flexão e à compressão, que são destrutivos. Os provetes foram pesados, medidos e devidamente instalados no equipamento “Sonometer - Resonance Frequency test apparatus”. Foi previamente colocada cola líquida na zona de contacto do provete com o emissor de vibração, para evitar o efeito de punção da agulha (“pickup”) no material e a consequente desagregação deste.

Os ensaios de **resistência à tracção por flexão** e à **compressão** procuraram seguir o procedimento da norma CEN EN 1015-11 [9]. Contudo, devido à baixa resistência dos provetes, foi necessário fazer algumas adaptações. Teve que se fazer primeiro um

ajustamento manual, não previsto na norma, para a máquina entrar em contacto com o provete sem choque. A carga é aplicada a velocidade constante de 10 e 50 kN/s. Segundo a norma, a rotura do provete deve ocorrer entre os 30 e os 90 segundos. Contudo, mesmo utilizando a velocidade mais baixa, 10 kN/s, não foi possível respeitar os 30 segundos exigidos pela norma. A força de rotura de flexão corresponde à máxima força registada durante o ensaio.

No ensaio de resistência à compressão são utilizadas as metades dos provetes resultantes do ensaio de flexão. Foi também feito o ajustamento manual da máquina e a carga aplicada sem choque a velocidade constante. Contudo, também neste ensaio não foi possível obter a rotura do provete no tempo exigido pela norma, entre 30 a 90 segundos, apesar de ter sido utilizada novamente a velocidade mínima que, neste caso, é de 50 N/s.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio sobre a argamassa no estado fresco

O valor do espalhamento foi predefinido, determinando-se por tentativas a quantidade de água a utilizar nas argamassas. Apontou-se para um espalhamento entre 160 e 176 mm, intervalo que segundo Gomes *et al* [18] corresponde a argamassas de terra com trabalhabilidade classificada como excelente.

Os resultados da determinação da consistência na mesa de espalhamento e da massa volúmica da argamassa fresca são apresentados na Tabela 3. Pode-se constatar que:

- A relação água/material sólido é sistematicamente superior para as argamassas que incluem fibras. A influência das fibras, que parecem incrementar a quantidade de água necessária para atingir determinada trabalhabilidade, é notória no caso das argamassas de terra-padrão (ATP e ATP_Fib), onde os valores de espalhamento para as duas argamassas são semelhantes e a percentagem da relação água/material seco é claramente superior no caso da argamassa com fibras. Este facto deve-se provavelmente ao facto das fibras de cânhamo absorverem parte da água utilizada na amassadura.
- As argamassas que contêm fibras apresentam também massas volúmicas inferiores por causa de o seu teor de água ser superior e também, provavelmente em parte, porque as fibras de cânhamo apresentam massa volúmica muito baixa.
- As variações observadas em função da percentagem de ligante são pequenas e não revelam tendências claras, o que indica que a ligeira variação do teor em ligante não afecta significativamente a trabalhabilidade.
- A massa volúmica das argamassas com cal área diminui à medida que aumenta a percentagem em ligante, verificando-se o inverso nas argamassas de cal hidráulica, contudo as diferenças são pequenas.

5.2 Retracção

Apresentam-se na Tabela 3 os resultados obtidos para a retracção linear e volumétrica das argamassas. Observando esta tabela, pode concluir-se que:

- Os resultados obtidos da retracção linear e da volumétrica são bastante díspares. Pelos resultados é visível que, para este tipo de material, a retracção linear não é suficiente para indicar a retracção real do provete, considerando-se ser uma lacuna neste ensaio apenas determinar este valor. Assim sendo, é aconselhável analisar-se também a retracção volumétrica (análise da retracção nas três direcções).
- A retracção linear não ultrapassa os 2% em nenhuma das argamassas. Tendo como referência o regulamento da Nova Zelândia 4298 [12] que considera como limite de

retracção linear para argamassas de terra de 3% no mesmo tipo de ensaio, pode concluir-se que todas as argamassas testadas são aceitáveis em relação a esta característica.

- A retracção volumétrica atinge o valor mais alto nas argamassas de cal aérea, com um valor de 8%.

- Não é identificável qualquer tipo de relação entre a retracção linear e volumétrica e a percentagem de ligante. Contudo, verifica-se que as argamassas com cal área apresentam uma retracção mais elevada do que as com cal hidráulica.

- A utilização de fibras diminui a retracção, quer linear, quer volumétrica, em todas as argamassas, à excepção da retracção linear para o caso das argamassas de cal hidráulica com fibras.

Tabela 3 - Relação água/material seco e resultados dos ensaios de espalhamento, massa volúmica, retracção linear e volumétrica das argamassas

Designação da argamassa	Relação água/material seco (%)	Espalhamento (mm)	Massa volúmica (kg/m ³)	Retracção (%)	
				Linear	Volumétrica
ATP	31	170	1872	1,15	4,06
ATP_Fib	34	170	1783	0,90	0,95
ATP_CA5		172	1873	1,59	7,83
ATP_CA10	30	172	1871	1,77	6,39
ATP_CA15		170	1854	1,36	6,21
ATP_CA5_Fib		165	1787	0,48	4,18
ATP_CA10_Fib	33	163	1776	0,23	6,03
ATP_CA15_Fib		163	1770	0,27	6,02
ATP_CH5		171	1878	0,70	4,65
ATP_CH10	29	172	1879	0,61	3,77
ATP_CH15		172	1880	0,57	5,49
ATP_CH5_Fib		169	1793	1,40	4,57
ATP_CH10_Fib	32	166	1794	1,65	2,80
ATP_CH15_Fib		166	1798	1,51	4,30

5.3 Absorção de água por capilaridade

As curvas de absorção de água por capilaridade exprimem a quantidade de água absorvida por unidade de superfície (kg.m⁻²) em função da raiz quadrada do tempo decorrido (seg^{1/2}) e são apresentadas na Figura 4. A inclinação do primeiro troço linear recto desta curva corresponde ao coeficiente de capilaridade, cujos valores estão apresentados na Figura 3. Pode verificar-se que:

- o coeficiente de capilaridade aumenta à medida que a percentagem em ligante (cal aérea ou cal hidráulica) também aumenta, podendo a diferença ser muito significativa;

- não existe um efeito claro e significativo das fibras sobre o coeficiente de capilaridade; nas argamassas ATP as fibras fazem subir o coeficiente de capilaridade; nas ATP_CA5, CA15 e CH10 a diferença não é significativa relativamente ao desvio padrão; nas ATP_CA10, CH5 e CH15 o coeficiente de capilaridade baixa;

- as argamassas com cal hidráulica apresentam um menor coeficiente de capilaridade, quando comparadas com as de cal aérea com as mesmas percentagens em ligante;

- duas das argamassas com cal aérea apresentam os valores mais elevados para o coeficiente de capilaridade.

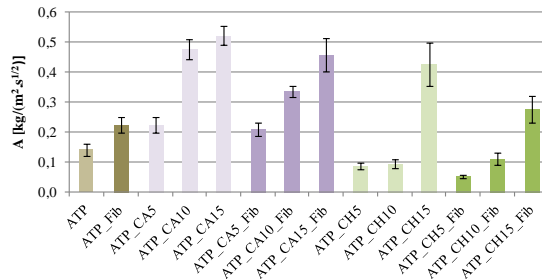


Figura 3 - Coeficiente de capilaridade nas argamassas

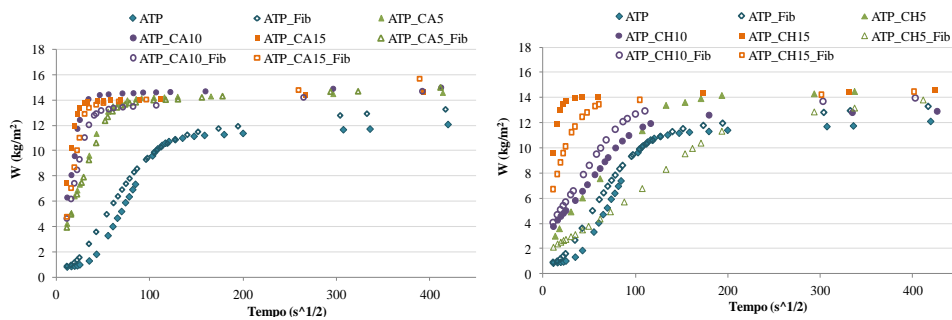


Figura 4 - Curvas de capilaridade das argamassas de terra-padrão: à esquerda, com cal aérea e, à direita, com cal hidráulica

5.4 Secagem

Os resultados do ensaio de secagem são dados pela curva de evaporação, Figura 5. É desejável que as argamassas facilitem a secagem, isto é, a eliminação da humidade que porventura penetrar no material. Analisando a Figura 5, verifica-se que não existem grandes diferenças entre as várias argamassas ao nível da secagem, ou seja, as adições - de fibras ou de ligantes - não têm como efeito retardar significativamente a secagem. Contudo pode dizer-se que: (i) a secagem é mais lenta nas argamassas de cal aérea com fibras, observando-se também um maior teor em água inicial nestas argamassas; (ii) as argamassas que apresentam uma secagem mais rápida são as ATP, ATP_CH5 e ATP_CH10, que apresentam também um menor teor em água inicial; (iii) verifica-se uma maior rapidez na secagem nas argamassas que apresentam o teor em água inicial menor.

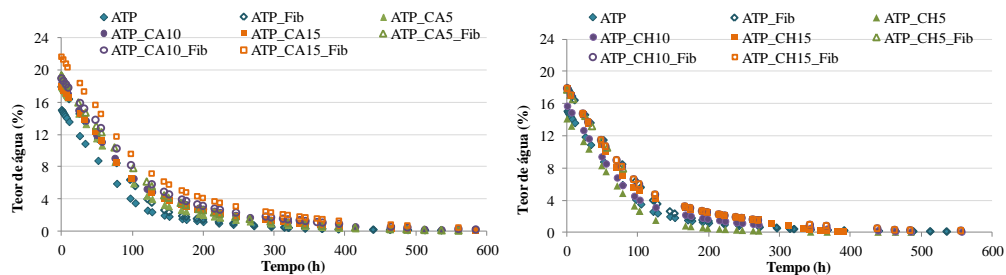


Figura 5 - Curvas de evaporação das argamassas de terra-padrão: à esquerda, com cal aérea e, à direita, com cal hidráulica

5.5 Módulo de elasticidade dinâmico

Os resultados do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico estão apresentados na Figura 6. O resultado da argamassa ATP_CH5_Fib não é apresentado, uma vez que foram relatados problemas biológicos no decurso do ensaio, neste momento está em curso a repetição do respectivo ensaio. Analisando a Figura 6, conclui-se que:

- A argamassa que apresenta o valor mais alto (argamassas menos deformável) é a argamassa ATP_CH5 seguida da ATP.
- A introdução de fibras não parece afectar de forma significativa e clara o módulo de elasticidade.
- O aumento de percentagem em ligante aumenta o valor do módulo de elasticidade nas argamassas de cal aérea mas faz diminuir este valor nas argamassas de cal hidráulica.

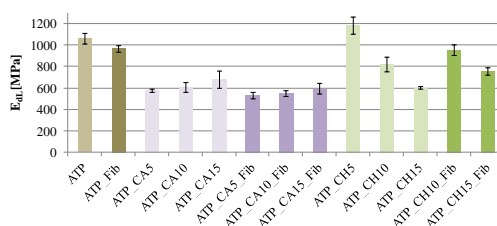


Figura 6 - Módulo de elasticidade dinâmico das argamassas

5.6 Resistência à tracção por flexão e à compressão

Os valores obtidos no ensaio da resistência à tracção por flexão e à compressão estão representados na Figura 7. À semelhança do ensaio do módulo de elasticidade, os resultados das argamassas ATP_CH5_Fib também não são apresentados. Analisando a Figura 7, pode concluir-se que:

- as argamassas só de terra-padrão apresentam os valores mais elevados para as resistências;
- a introdução de fibras, para a mesma percentagem de ligante: (i) aumenta a resistência à tracção por flexão, no grupo das argamassas com cal hidráulica; (ii) aumenta a resistência à compressão (à excepção da ATP; contudo esta não é significativa tendo em conta o desvio padrão);
- à medida que se aumenta a percentagem de ligante: (i) a resistência à tracção por flexão aumenta para as argamassas de cal aérea e diminui para as argamassas de cal hidráulica; (ii) também aumenta a resistência à compressão, existindo uma tendência para uma diminuição no caso das argamassas de cal hidráulica sem adição de fibras;
- as variações observadas entre argamassas são praticamente iguais para as duas resistências mecânicas e também semelhantes às registadas para o módulo de elasticidade dinâmico.

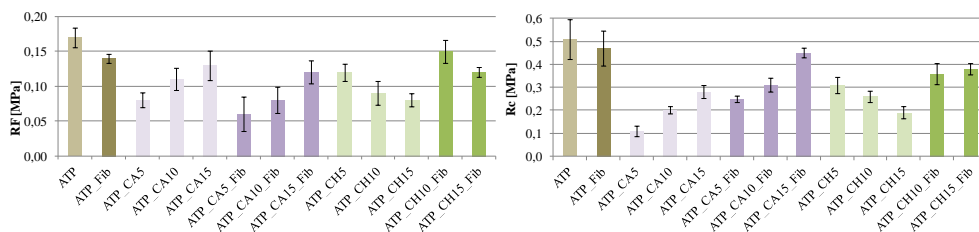


Figura 7 - À esquerda, resistência à tracção por flexão e, à direita, resistência à compressão das argamassas

5.7 Desenvolvimento biológico

Durante a cura da argamassa ATP_CH5_Fib, quando os provetes ainda se encontravam no molde, verificou-se o aparecimento de fungos/bolores à superfície. Não foi na altura clara a razão de tal aparecimento, uma vez que todas as argamassas foram preparadas da mesma maneira e os materiais utilizados tiveram todos a mesma origem.

Para tentar esclarecer as causas, foram efectuadas novas amassaduras com a mesma mistura, tendo-se verificado novamente o referido desenvolvimento biológico. Detectaram-se ainda mais dois casos de desenvolvimento biológico em duas famílias de argamassas: (i) na ATP_Fib durante os 60 a 90 dias de cura, ainda que neste caso seja quase imperceptível visualmente; (ii) na ATP_CH10_Fib, nos provetes após realização do ensaio de absorção de água por capilaridade.

Julga-se que estas ocorrências estarão relacionadas com a presença das fibras de cânhamo. As fibras poderão potenciar o desenvolvimento biológico, sendo este inibido ou dificultado em alguns casos (nas argamassas com cal aérea e na argamassa com maior percentagem de cal hidráulica) possivelmente por alterações de Ph. Tradicionalmente, as argamassas de cal aérea são amiúde utilizadas com fins sanitários, o que é consistente com o facto de também aqui não terem ocorrido problemas com estas argamassas.

6. CONCLUSÕES

Em relação à adição de fibras nas argamassas, verificou-se que esta: (i) diminuiu a retracção, quer linear, quer volumétrica, em todas as argamassas, à excepção da retracção linear nas ATP_CH_Fib; (ii) não se verificou um efeito claro e significativo no coeficiente de capilaridade; (iii) não retardou a secagem; (iv) não afectou o módulo de elasticidade dinâmico; (v) na maior parte dos casos aumentou a resistência à compressão, não se verificando no entanto a mesma tendência para a resistência à flexão; (vi) proporcionou o aparecimento de bolor, excepto nas argamassas de cal aérea

Quanto à adição de ligantes, pode concluir-se que: (i) não é identificável qualquer tipo de relação entre a retracção linear e volumétrica e a percentagem de ligante, acontecendo os valores mais baixos nas argamassas ATP, ATP_Fib e nas ATP_CH; (ii) o coeficiente de capilaridade é inferior nas argamassas com menores percentagens de cal hidráulica, com e sem fibras, registando-se o valor mais elevado na argamassas com maiores percentagens de cal aérea, pelo que a adição de cal aérea indicia pior comportamento face à capilaridade; (iii) não existem grandes diferenças entre as várias argamassas ao nível da secagem, ou seja, nenhuma das adições retarda de forma significativa a secagem; (iv) adições de baixas percentagens de ligantes (cal aérea e cal hidráulica) não se traduzem na melhoria do comportamento mecânico.

No prosseguimento deste estudo, é importante verificar a viabilidade destas argamassas de reparação em suportes de taipa, avaliando a sua trabalhabilidade e aderência, e analisar como elas se comportam em termos de durabilidade.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho experimental foi realizado no LNEC. A primeira autora foi apoiada por uma bolsa de doutoramento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT). Somos gratos às pessoas que colaboraram no trabalho experimental, em particular, aos técnicos do LNEC José Costa, João Júnior, Luís Nunes, Bento Sabala e João Ribeiro. Agradece-se ao

Eng. Guilherme Andrade da Sorgila - à Lusical, à Secil pela disponibilização dos materiais e ao Sr. António Teixeira da Aubiose, pela disponibilização do cânhamo.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Walker, P. ; Standards Australia. *HB 195: The Australian earth building handbook*. Standards Australia, Sydney, Australia, 2001.
- [2] Guelberth, C.R.; Chiras, D. *The natural plaster book, earth, lime and gypsum renders for natural homes*, New Society Publishers, 2008.
- [3] CEN, EN 1015-6:1998. *Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels CEN, 1998.
- [4] LNEC. Especificação 239:1970. *Análise granulométrica por peneiração húmida*. Lisboa, 1970.
- [5] IPQ, NP EN 1097-3 : 2002. *Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Lisboa, 2002.
- [6] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Especificação 219:1968. *Prospecção geotécnica de terrenos*. Lisboa, 1968.
- [7] IPQ, NP EN 459-1:2011. *Cal de Construção. Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*. Lisboa, IPQ, 2011.
- [8] IPQ, NP EN 196-1:2006. *Métodos de ensaios de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas*. Lisboa. IPQ, 2006.
- [9] CEN, EN 1015-11:1999. *Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels CEN, 1999/A1:2006.
- [10] CEN, EN 1015-3:1999. *Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels CEN, 1999/ A1: 2004/ A2: 2006.
- [11] Houben, H.; Guillard, H. *Earth construction - A comprehensive guide*. International Centre for Earth Construction - School of Architecture of Grenoble (CRAterre - SAG), Intermediate Technology Publications, 1994.
- [12] Standards New Zealand (SNZ) 4298. *Materials and workmanship for earth buildings*. New Zealand, 1998.
- [13] Lehm bau Regeln. *Begriffe; Baustoffe; Bauteile*. Dachverband Lehm e.V. (Hrsg.), Germany: Vieweg & Teubner, 3., überarbeitete Auflage. Praxis, Germany, 2009.
- [14] Gomes, M.I.; Gonçalves, T.; Rodrigues, P. *Unstabilised rammed earth: characterization of material collected from old constructions in south Portugal and comparison to normative requirements* (artigo submetido ao International Journal of Architectural Heritage, Taylor & Francis).
- [15] RILEM TC 25-PEM 1980. *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*. Materials and Structures 13, 209 (test No. II.6 “Water absorption coefficient (capillarity)”). Paris.
- [16] RILEM TC 25-PEM 1980. *Recommended tests to measure the deterioration of stone and to assess the effectiveness of treatment methods*. Materials and Structures 13, 204-207 (test No. II.5 “Evaporation curve”), Paris.
- [17] IPQ, NP EN 14146: 2006. *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)*. Lisboa. IPQ, 2006.
- [18] Gomes, M.I.; Gonçalves, T.D.; Faria, P. *Influência do teor em água na trabalhabilidade de argamassas de terra para reparação de taipa (a publicar em 2012)*.