

## SOLUÇÃO CONSTRUTIVA ECO-EFICIENTE DE PAREDES MONOLÍTICAS CONTRIBUTO PARA A SUA CARACTERIZAÇÃO



**D. VAL**  
Mestrando de Eng. Civil  
FCT, Universidade Nova de Lisboa  
Caparica; Portugal  
[d.val@campus.fct.unl.pt](mailto:d.val@campus.fct.unl.pt)



**P. FARIA**  
Eng. Civil, Prof. Associada  
CERIS, ICIST  
FCT, Universidade Nova de Lisboa  
Caparica; Portugal  
[paulina.faria@fct.unl.pt](mailto:paulina.faria@fct.unl.pt)



**V. SILVA**  
Eng.º Técnico Civil, Bolseiro  
FCT, Universidade Nova de Lisboa  
Caparica; Portugal  
[vmd.silva@fct.unl.pt](mailto:vmd.silva@fct.unl.pt)

### RESUMO

Foi desenvolvida uma solução construtiva de paredes monolíticas com base em terra estabilizada com cal aérea, canas e fibras de canas. Apresenta-se um contributo para a otimização da solução construtiva através da caracterização de provetes do material utilizado, nos quais se variaram as proporções dos constituintes. Avaliou-se a massa volúmica no estado seco, a condutibilidade térmica, o comportamento face à água e o comportamento mecânico. Para além da menor massa volúmica e maior resistência térmica, comparativamente a outras soluções de paredes de terra, as resistências mecânicas podem ser particularmente controladas através da proporção (e tipo) de constituintes. Este tipo de solução é ainda particularmente interessante pela facilidade de execução, que permite a sua aplicação por mão-de-obra não especializada, podendo dessa forma promover a criação de emprego e resolver carências habitacionais.

### 1. INTRODUÇÃO

A preocupação, cada vez mais premente, com o ambiente e os recursos energéticos leva à necessidade do desenvolvimento de novas soluções construtivas que permitam minorar o impacto ambiental e o consumo de materiais transformados, a energia utilizada para a construção e para a manutenção de condições de conforto. Como contributo para responder a esta problemática têm vindo a ser desenvolvidas diversas tecnologias construtivas eco-eficientes de paredes, algumas recuperando tecnologias vernaculares, como as paredes monolíticas de taipa ou terra empilhada (*cob*) e de alvenarias de adobe ou de outros blocos de terra [1], e outras mais alternativas, como sejam as alvenarias de fardos de palha [2]. Em Portugal foram particularmente utilizadas as técnicas da taipa e da alvenaria de adobe [3]. Em alguns outros países, como é o caso de Inglaterra, a técnica construtiva do *cob* foi muito utilizada, particularmente na zona Sudoeste.

Numa parceria entre a Fradical e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa foi desenvolvida uma solução construtiva de paredes monolíticas com base em terra estabilizada com cal aérea, fibras de canas e as próprias canas. Este tipo de material vegetal era tradicionalmente utilizado por exemplo em forros de teto e apresenta diversas potencialidades [4].

Para a execução destas paredes é realizada uma fundação direta constituindo um soco de betão (que pode ser executada com cal aérea hidrofugada ou exigir a aplicação de um corte hídrico colocado antes do arranque da parede). A meia espessura desse soco são inseridos uns prumos verticais constituindo uma estrutura de contraventamento de

madeira. Numa célula experimental já realizada, e que atualmente se encontra a ser monitorizada e modelada a nível físico-mecânico, estes prumos foram colocados em cada esquina, espaçados de cerca de 2,4 m. Lateralmente à fundação e de cada lado, espaçados de cerca de 2 m, são colocados outros prumos de madeira, estes provisórios e apenas destinados à fase construtiva. Colhem-se e preparam-se canas (*arundo donax*, vulgo cana-do-reino); algumas devem ser deixadas secar íntegras enquanto outras são estraçalhadas, para serem reduzidas a fibras de dimensões variáveis. É também preparada uma argamassa maioritariamente de terra mas com uma pequena percentagem de cal aérea em pasta, pozolana, por vezes uma areia grossa e um significativo volume de fibras das canas. Para a execução da alvenaria começa-se por colocar uma camada de argamassa sobre o soco da fundação, depois dispõem-se canas lado a lado, no sentido longitudinal da parede, confinadas lateralmente pelos prumos laterais. Repete a aplicação de camadas sucessivamente até atingir-se a altura final da parede.

Numa etapa preliminar deste desenvolvimento procedeu-se à formulação e caracterização de diversas proporções dos constituintes da argamassa de terra da alvenaria. Para além dos constituintes mencionados, nalgumas formulações foi ainda incluído um secante para avaliar o seu comportamento no sentido de acelerar o endurecimento da parede na fase de obra. Neste artigo vai apresentar-se a caracterização efectuada aos provetes só de argamassa de terra (com e/ou sem fibras de canas) e a provetes de argamassa de terra e canas dessa fase preliminar de formulação.

## 2. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Como referido a solução construtiva da alvenaria é constituída por camadas alternadas de argamassa à base de terra, cal aérea, pozolana e fibras de canas, com ou sem agente secante e areão, intercaladas com camadas de canas. A camada de argamassa tem aproximadamente 3 cm de espessura mas envolve a camada de canas, garantindo a ligação do conjunto. As canas apresentam diâmetro variável, da ordem de 2-3 cm, e são colocadas de forma a garantir espaço suficiente entre elas para que a argamassa da camada superior contacte com a argamassa da camada inferior.

A campanha experimental contemplou ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico, resistências à tração por flexão e à compressão) e ensaios de caracterização física (massa volúmica no estado seco, comportamento face à água - absorção capilar e secagem - e condutibilidade térmica).

### 2.1 Materiais, provetes e cura

Os materiais constituintes das argamassas são: terra T1 e terra T2; uma cal em pasta cálcica Fradical, classificada como CL90-S PL; um aditivo pozolânico comercializado em pó pela Fradical; fibras de canas; por vezes um areão com máxima dimensão de 4,75 mm e um secante comercializado pela Fradical, composto predominantemente por óxido de cálcio e óxidos de alumínio e sílica. As argamassas formuladas apresentam diferentes constituições, que são apresentadas na Tabela 1 em termos de traços volumétricos.

Tabela 1 - Traços volumétricos das argamassas em estudo

Argamassa	Terra	Areão	Cal	Pozolana	Fibras	Argamassa	Terra	Areão	Cal	Pozolana	Fibras
1	1	0,5	0,04	0,11	1,5	5	1	0	0,09	0,06	1
2	1	1	0,05	0,15	2	5.1	1	0	0,09	0,06	0
3	1	0	0,025	0,075	1	6	1	1	0,175	0,125	2
4	1	0	0,09	0,06	0,5	6.1	1	1	0,175	0,125	0

As argamassas 1 a 5 foram produzidas com a terra T1; as argamassas 6 e 6.1 foram produzidas com uma mistura das terras T1 e T2. Como se pode verificar, nem todas as argamassas contêm areão. A única diferença existente entre as argamassas 5 e 5.1, bem como entre as argamassas 6 e 6.1, é a ausência de fibras de canas. Ao material de alguns provetes de algumas argamassas foi por vezes introduzido secante.

Para cada argamassa foram realizados provetes de diferentes dimensões, dependendo dos ensaios a realizar: provetes A - prismáticos de 40x40x160 [mm<sup>3</sup>]; provetes B - prismáticos de 100x100x200 [mm<sup>3</sup>]; provetes C - cúbicos de 150 mm de aresta. As dimensões dos provetes, inclusão ou não de secante (SE) ou de canas (C) e os ensaios a que foram sujeitos apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Provetes, dimensões e ensaios realizados

Provete				Ensaio
Denominação	Dimensões [mm <sup>3</sup> ]	Secante	Canas	
A	40x40x160	Não	Não	MV, $\lambda$ , absorção capilar (arg. 1, 5, 5.1 e 6.1), secagem (arg. 1, 5, 5.1 e 6.1), RF, RC, MED
A_SE	40x40x160	Sim	Não	MV, $\lambda$ , absorção capilar (arg. 1), secagem (arg. 1), RF, RC, MED
B	100x100x200	Não	Não	MV, $\lambda$ , absorção capilar (arg. 6), secagem (arg. 6), RF, RC, MED
B_SE	100x100x200	Sim	Não	MV, $\lambda$ , RF, RC, MED
B_C	100x100x200	Não	Sim	MV, RF, RC
B_C_SE	100x100x200	Sim	Sim	MV, RF, RC
D_C	150x150x150	Não	Sim	MV, RC
D_C_SE	150x150x150	Sim	Sim	MV, RC

Nota: MV – massa volúmica,  $\lambda$  – condutibilidade térmica, MED – módulo de elasticidade dinâmico, RF e RC – resistências à tração por flexão e à compressão

Assim sendo, a partir daqui os provetes passarão a ser designados por: tipo de argamassa\_tipo de provete. Por exemplo um provete constituído por argamassa 1, de dimensões 100x100x200 [mm<sup>3</sup>], com canas e com secante designa-se como 1\_B\_C\_SE.

Os provetes com as argamassas 1, 2, 3, 4, 5 e 5.1 foram realizados nas instalações da Fradical e com as argamassas 6 e 6.1 foram realizados na FCT UNL. Apenas os provetes A foram realizados com as argamassas 5.1 e 6.1, sem fibras. Apenas os provetes D e alguns dos B foram realizados com canas e sempre com fibras. Foi realizado um mínimo de 3 provetes de cada. Todos permaneceram em condições de cura à temperatura de  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  e humidade relativa (HR) de  $65 \pm 5\%$  durante um período mínimo de 60 dias.

## 2.2 Massa volúmica aparente e condutibilidade térmica

Os diferentes provetes foram medidos e a sua massa avaliada de forma a ser possível determinar a sua massa volúmica geometricamente. Para a sua determinação utilizou-se uma craveira digital de precisão de 0,01 mm e uma balança de precisão de 0,001 g. A massa volúmica de cada provete, determinada através do quociente da massa pelo volume, e os valores médios obtidos são apresentados na Figura 1.

Verifica-se que, como seria expectável, a inclusão de canas e de fibras reduz a massa volúmica dos provetes, que a introdução de secante não aparenta ser muito relevante deste ponto de vista, assim como a geometria dos provetes, para a mesma constituição. Entre composições das argamassas, a figura 1 permite visualizar algumas diferenças, aparentando ser a formulação 6 a que conduz a um material com maior massa volúmica.

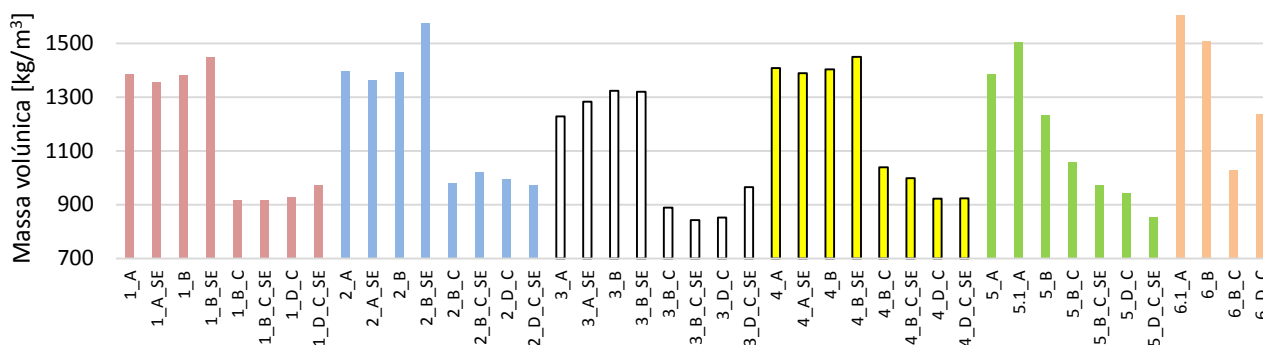


Figura 1: Massa volúmica

O ensaio da condutibilidade térmica realizou-se com recurso ao equipamento ISOMET 2104 (Heat Transfer Analyser) e respetiva sonda de superfície API 210412 com 60 mm de diâmetro. Este equipamento emite um fluxo térmico e avalia a resposta do material em estudo.

O equipamento define uma espessura mínima de 15 mm e uma face com um mínimo de 60 mm de lado para os provetes de material que se pretende ensaiar. É de notar que a sonda de superfície utilizada tem área superior à área de contacto com os provetes A, pelo que os resultados obtidos para estes prismas só são totalmente comparáveis com ensaios realizados com provetes com a mesma dimensão.

Para a realização deste ensaio os provetes A e B (sem canas) foram mantidos nas condições de cura inicial e foram efetuadas 3 medições em cada um; estas medições foram alternadas para evitar que o aumento de temperatura dos provetes, provocado pela sonda, falsificasse as diferentes medições em cada provete. Para garantir as condições de fronteira homogêneas, os provetes são colocados em cima de uma placa de XPS. Nestas condições, selecionou-se a opção Thermal Conductivity do aparelho iniciando-se o ensaio. Os resultados da condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) são expressos em W/(m.K) arredondados a uma casa decimal, segundo a norma DIN 18947 [5], e o valor de cada material corresponde à média e desvio-padrão das medições realizadas em todos os provetes desse material. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 2.

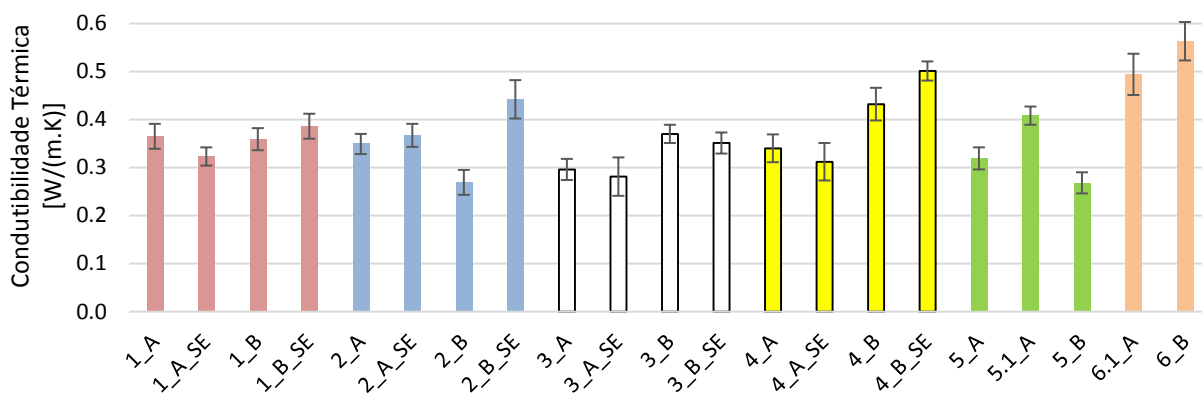


Figura 2: Condutibilidade térmica

Verifica-se que todas as formulações apresentam condutibilidade térmica entre 0,27 e 0,55 W/(m.K). De um modo geral os valores são diretamente proporcionais aos apresentados pela massa volúmica. Os valores mais elevados são apresentados pelas formulações 6 e 6.1, que também apresentavam massas volúmicas das mais elevadas. Estes provetes foram também os únicos que foram realizados por operador distinto e em local distinto, o que pode ter tido também alguma influência. Comparativamente a uma parede de taipa, esta solução apresenta um valor muito mais eficiente.

### 2.3 Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tração por flexão e à compressão

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico recorreu-se ao método da ressonância forçada, com base na norma NP EN 14146 [6]. Esta norma aplica-se a pedra natural e padroniza os procedimentos necessários para a determinação da frequência fundamental de ressonância para uma vibração induzida na direção longitudinal. Este ensaio foi realizado para os provetes A e B sem canas, tendo em conta os dados geométricos e a respectiva massa volumica. Após o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, realizou-se o ensaio de resistência à tração por flexão, tendo por base a norma EN 1015-11 [7]. Inicialmente preparou-se a máquina universal Zwick/Rowell Z050 com a introdução de uma célula de carga de 2 kN associada ao dispositivo de flexão por três pontos. Seguidamente colocou-se um provete sobre os apoios distanciados entre si de 100 mm para os provetes A e 150 mm para os provetes B. Deu-se então início ao programa de *software* do equipamento de ensaio, que incrementou uma velocidade, variável de provete para provete, à carga. O *software* produz um gráfico da força aplicada (em N) em função do tempo (em s), registando a força máxima Fr aplicada, que leva à rotura do provete. Através da equação 1 é possível obter a resistência à tração por flexão Rt (em MPa) dos provetes, como é indicado na norma EN 1015-11 [7].

$$R_t = \frac{Fr * l}{4} * \frac{h}{2} * \frac{12}{b * h^3} = \frac{3}{2} * \frac{Fr * l}{b * h^2} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

em que: l – distância entre apoios, em milímetros (100 ou 150 mm, respetivamente); b – lado horizontal da secção, em milímetros; h – lado vertical da secção, em milímetros; Fr – força máxima registada, em N. Foi realizado o ensaio de resistência à compressão com metade de cada provete resultante do ensaio de resistência à tração por flexão, com base também na norma EN 1015-11 [7]. De forma semelhante ao ensaio anterior, preparou-se a máquina universal Zwick/Rowell Z050 com a introdução da célula de carga de 50 kN no dispositivo para compressão dos provetes em estudo. Colocou-se um provete entre os dispositivos de compressão e deu-se início ao carregamento do provete através do *software* do equipamento anteriormente referido, com velocidades variáveis de provete para provete. Ficam registados os valores da força aplicada em função do tempo, bem como a força máxima de compressão (Fc). A resistência à compressão Rc (em MPa) é obtida através do quociente entre a força máxima aplicada Fc (em N) e a secção de aplicação da carga (em mm<sup>2</sup>).

Os resultados obtidos nos três últimos ensaios descritos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Módulo de elasticidade dinâmico MED, resistências à flexão RF e à compressão RC

Provetes	MED		RF		RC	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1_A	1211	53	0,293	0,054	0,434	0,013
1_A_SE	1333	40	0,396	0,035	0,506	0,047
1_B	1104	55	0,233	0,022	0,195	0,018
1_B_SE	1322	63	0,250	0,020	0,249	0,025
1_B_C	-	-	0,603	0,022	-	-
1_B_C_SE	-	-	-	-	0,593	0,031
1_D_C	-	-	-	-	0,382	0,005
1_D_C_SE	-	-	-	-	0,420	0,003
2_A	1470	71	0,344	0,050	0,626	0,095
2_A_SE	1431	38	0,367	0,046	0,261	0,023
2_B	1510	118	0,246	0,014	0,210	0,015
2_B_SE	1411	104	0,288	0,014	0,205	0,014
2_B_C	-	-	0,665	0,029	-	-
2_B_C_SE	-	-	-	-	0,538	0,014
2_D_C	-	-	-	-	0,370	0,004
2_D_C_SE	-	-	-	-	0,480	0,028
3_A	1085	97	0,359	0,050	0,391	0,035
3_A_SE	1266	88	0,356	0,032	0,586	0,041
3_B	1213	66	0,249	0,016	0,326	0,029
3_B_SE	1163	53	0,289	0,013	0,310	0,013
3_B_C	-	-	0,688	0,050	-	-
3_B_C_SE	-	-	-	-	0,436	0,022
3_D_C	-	-	-	-	0,271	0,017
3_D_C_SE	-	-	-	-	0,375	0,030
4_A	1159	45	0,603	0,037	0,416	0,016
4_A_SE	1093	69	0,499	0,060	0,489	0,034
4_B	1779	31	0,236	0,016	0,452	0,023
4_B_SE	1916	65	0,411	0,049	0,734	0,047
4_B_C	-	-	0,593	0,022	-	-
4_B_C_SE	-	-	-	-	0,508	0,027
4_D_C	-	-	-	-	0,293	0,006
4_D_C_SE	-	-	-	-	0,222	0,036
5_A	1016	48	0,346	0,025	0,294	0,016
5.1_A	1711	36	0,134	0,016	0,591	0,027
5_B	1739	55	0,359	0,025	0,257	0,012
5_B_C	-	-	0,293	0,008	-	-
5_B_C_SE	-	-	-	-	0,326	0,007
5_D_C	-	-	-	-	0,098	0,001
5_D_C_SE	-	-	-	-	0,288	0,041
6.1_A	1416	95	0,086	0,013	0,420	0,049
6_B	1376	44	0,230	0,013	0,360	0,009
6_B_C	-	-	0,512	0,047	0,411	0,013
6_D_C	-	-	-	-	0,321	0,019

Verifica-se que, de um modo geral a introdução de secante aumenta a resistência à compressão, mas não apresenta influência na resistência à flexão dos materiais. É de notar que a introdução de canas aumenta os valores das resistências à flexão e que, por comparação dos provetes 6\_B e 6\_B\_C, aumenta a resistência à compressão. Esta característica deve-se ao facto de as canas dos provetes 6\_B\_C estarem alinhadas, formando colunas de argamassa sem canas, o que favorece o comportamento à compressão. Verificou-se que, para uma mesma argamassa, o aumento das dimensões dos provetes é acompanhado pela diminuição das resistências mecânicas. Deste modo verifica-se a existência de influência da dimensão das fibras em relação ao volume do provete. Verifica-se também que os valores do módulo de elasticidade dinâmico têm a mesma tendência que os valores de resistência à compressão. De notar ainda que de entre as amostras que melhor representam a solução construtiva (as com canas), a que apresenta maior resistência à compressão é a amostra 1\_B\_C\_SE (0,593 MPa), quase tão resistente como paredes de taipa não estabilizada (0,60 MPa) ou alvenaria de adobe (0,75MPa) [8].

## 2.4 Absorção de água por capilaridade e secagem

Este ensaio foi realizado com base nos procedimentos das normas EN 1015-8 [9] e EN 15801 [10], com algumas adaptações para não ocorrerem perdas de massa provenientes da degradação dos provetes de argamassa, por contacto prolongado com água. A finalidade deste ensaio foi a de determinar o coeficiente de capilaridade (CC), que traduz a velocidade inicial com que ocorre a absorção capilar. Para a realização deste ensaio, alguns provetes que resultaram do ensaio de resistência à tração por flexão foram cortados com altura igual ao comprimento e largura, tanto quanto possível de forma a resultarem prismas com dimensões de 40x40x40 mm<sup>3</sup> para os provetes A e de 100x100x50 mm<sup>3</sup> para os provetes B.

Antes da realização do ensaio os provetes foram impermeabilizados nas quatro faces laterais, com recurso a uma mistura de cera de abelha e pês de louro com traço em massa de 1:1, para garantir que a absorção se efetuasse apenas na base e fosse unidirecional, evitando perdas pelas faces laterais. A face inferior de todos os provetes foi coberta com um tecido de algodão preso por um elástico, permitindo a passagem da água e evitando a perda de material durante a fase de absorção.

A curva de absorção de água por capilaridade foi obtida num gráfico que apresenta a quantidade de água absorvida por área da base (em kg/m<sup>2</sup>) em ordenadas e a raiz quadrada do tempo (em min<sup>1/2</sup>) em abcissas. O CC, expresso em kg/(m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>), resulta do declive (m) da recta obtida através de uma regressão linear dos pontos do segmento representativo da absorção inicial:  $y=mx+b$ . A curva de capilaridade apresenta-se na Figura 3 e os valores médios e desvio-padrão do CC encontram-se na Tabela 4.

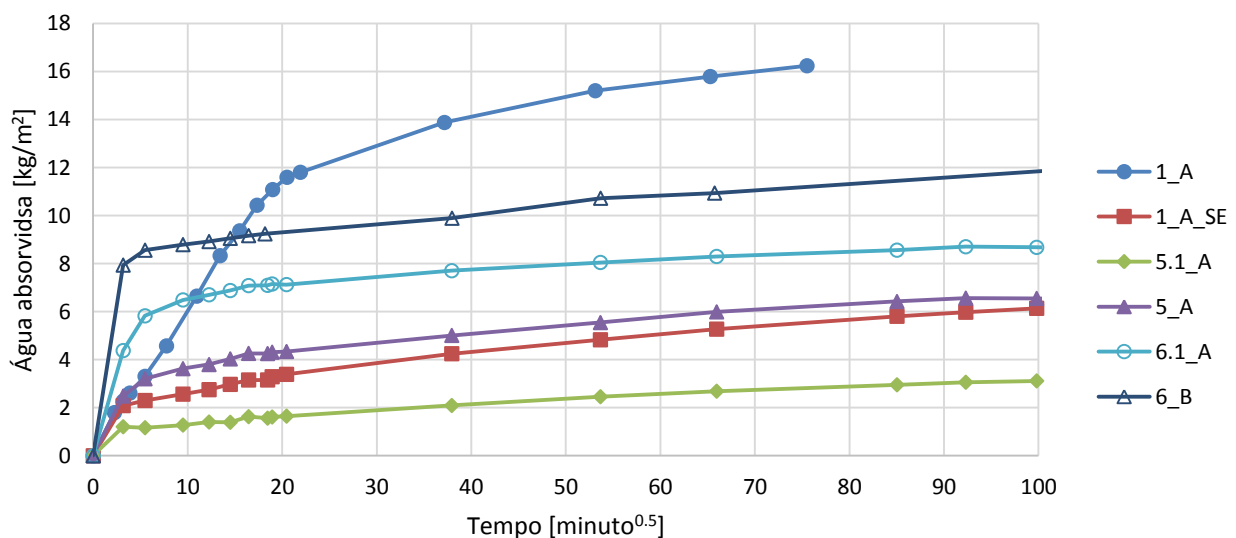


Figura 3: Curvas de capilaridade

O ensaio de secagem teve por base o procedimento definido na EN 16322:2013 [11]. Determinou-se a curva de evaporação, com o tempo em abcissas e a percentagem (ou a massa de água não evaporada por unidade de área de secagem) em ordenada. Para a determinação da curva de secagem de cada conjunto de provetes, estes foram retirados da caixa em que se realizou o ensaio de absorção de água por capilaridade e colocados em caixas de Petri, pesadas

anteriormente. O conjunto provetes e caixas de Petri foi pesado numa balança de precisão 0,001 g e colocados numa bancada metálica lisa. Durante o primeiro dia de ensaio os provetes foram pesados de hora a hora. Nos dias seguintes as pesagens passaram a ser realizadas de 24 em 24 horas até à estabilização da massa (diferença de massa de 1% entre duas pesagens consecutivas). A taxa de secagem (TS) expressa a velocidade com que esta se processa inicialmente, e obtém-se pelo declive do troço inicial da curva de secagem com a horizontal (em  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ). O índice de secagem (IS) traduz a dificuldade de se atingir a secagem completa, em equilíbrio com o ambiente, e foi calculado pela expressão simplificada apresentada em Grilo *et al.* [12]. A curva de secagem é expressa na Figura 4 e os valores médios e desvio-padrão da TS e do IS às 200 horas são apresentados na Tabela 4.

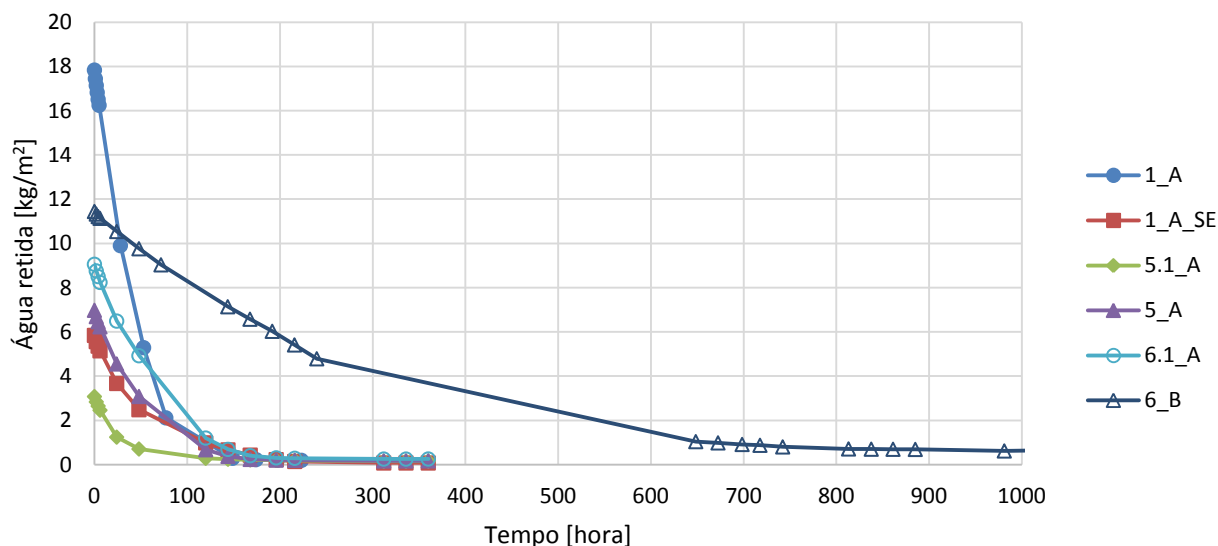


Figura 4: Curvas de secagem

Tabela 4 - Coeficiente de capilaridade CC, taxa de secagem TS e índice de secagem IS às 200 horas

Provete	CC [ $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{min}^{0.5})$ ]		TS [ $\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ]		IS [-]	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1_A	0,719	0,125	0,318	0,031	0,370	0,019
1_A_SE	0,660	0,292	0,116	0,012	0,284	0,081
5.1_A	0,382	0,039	0,103	0,005	0,209	0,014
5_A	0,786	0,399	0,125	0,015	0,274	0,036
6.1_A	1,385	0,397	0,136	0,007	0,330	0,021
6_B	2,510	0,236	0,051	0,007	0,742	0,010

Em termos da absorção capilar verifica-se que ocorrem diferenças significativas em função do tipo de provetes, mesmo quando produzidos a partir de argamassa semelhante. Essa diferença está relacionada com a área de contacto com a água e principalmente com o volume total do provete e a sua composição. A formulação 1\_A, embora apresentando um CC relativamente baixo quando comparado com 6\_B e 6.1\_A, indicia absorver uma quantidade de água muito elevada para provetes A.

Relativamente à secagem verifica-se que para todos os provetes e, tal como esperado, a um maior valor de CC obtido no ensaio de capilaridade corresponde um maior valor de IS no ensaio de secagem. Para os provetes ensaiados, um maior valor de TS é acompanhado por um maior valor de IS. Comparando os provetes 5.1\_A e 5\_A verifica-se que a presença de fibras faz aumentar os valores de CC, TS e IS. O inverso é verificado para o secante quando comparados os provetes 1\_A e 1\_A\_SE, uma vez que a sua presença faz diminuir os valores de CC, TS e IS.

### 3. CONCLUSÕES

Para além da menor massa volúmica e maior resistência térmica, comparativamente a outras soluções de paredes de terra, as resistências mecânicas dos materiais ensaiados demonstraram poder ser particularmente controladas através da proporção (e tipo) de constituintes.

O facto da massa volúmica dos provetes com argamassa 6 ser a mais elevada é congruente com o facto de ser a argamassa que tem terra e areão, mas também ter a maior quantidade de partículas finas (cal e pozolana); a argamassa 6.1 não tem fibras, sendo superior a todas as outras. A variação da condutibilidade térmica é diretamente proporcional à massa volúmica.

A introdução de canas proporciona um enorme contributo no acréscimo das resistências mecânicas. Os valores do módulo de elasticidade dinâmico têm a mesma tendência dos valores de resistência à compressão.

A área de contacto com a água, o volume total do provete e a sua composição são determinantes nos resultados do ensaio de capilaridade. A presença de fibras de canas nos provetes faz aumentar os valores de CC, TS e IS, o que significa que a água é absorvida mais rapidamente mas que também a secagem começa por ocorrer rapidamente. No entanto a secagem completa tem mais dificuldade em ser atingida. A presença de secante faz diminuir os valores de CC, TS e IS.

Pela experiência de construção dos provetes e particularmente da célula em monitorização, considera-se que este tipo de solução de construção de parede monolítica é particularmente interessante pela facilidade de execução, que permite ser realizada por mão-de-obra não especializada, podendo dessa forma promover a criação de emprego. Poderá vir a constituir uma solução fácil de implementar particularmente em países com grandes carências habitacionais e de outros equipamentos sociais de pequeno porte.

### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer à FRADICAL - Fábrica de Transformação de Cal, Lda e em particular ao Eng. Fernando Cartaxo, aos Arq. Alina Jerónimo e Paulo Fernandes pela colaboração profícua no desenvolvimento da solução construtiva e na execução de grande parte dos provetes ensaiados.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Miccoli, L. *et al*, “Mechanical behaviour of earthen materials: A comparison between earth block masonry, rammed earth and cob”. *Construction and Building Materials*, 2014, n.º 61, pp. 327-339.
- [2] Thompson, A.; Walker, P. “Durability characteristics of straw bales in building envelopes”, *Construction and Building Materials*, 2014, n.º 68, pp. 135-141.
- [3] AAVV. *Arquitectura de Terra em Portugal/Earth Architecture in Portugal*. Argumentum, Lisboa, 2005.
- [4] Gabarrón M. *et al*, “Increase of the flexural strength of construction elements made with plaster (calcium sulfate dihydrate) and common reed (*Arundo donax* L.)”, *Construction and Building Materials*, 2014, n.º66, pp. 436-441.
- [5] DIN 18947: 2013. Earth plasters – Terms and definitions, requirements, test methods (in German). Berlin, DIN.
- [6] NP EN 14146: 2006. Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental). Caparica, IPQ.
- [7] EN 1015-11: 1999/A1. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels, CEN.
- [8] Jiménez-Delgado, M.; Canas-Guerrero, I. “Earth building in Spain”, *Construction and Building Materials*, 2006, n.º20, pp. 679–690.
- [9] EN 1015-18: 2002. Methods of test for mortar for masonry. Part 18: Determination of water- absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels, CEN.
- [10] EN 15801: 2009. Conservation of cultural property - Test methods - Determination of water absorption by capillarity. Brussels, CEN.
- [11] EN 16322: 2013. Conservation of Cultural Heritage; Test methods; Determination of drying properties. Brussels, CEN.
- [12] Grilo, J. *et al*, “New natural hydraulic lime mortars. Physical and microstructural properties in different curing conditions”. *Construction and Building Materials*, 2014, n.º 54, pp. 378-384.