

Contributo de betões de cânhamo na regulação passiva da humidade no interior dos edifícios

Tânia Simões | Dep. de Engenharia Civil da Universidade NOVA de Lisboa, Portugal | ts.simoese@campus.fct.unl.pt

Fionn McGregor | LGCB-LTDS, UMR 5513 CNRS, École Nationale de Travaux Publics de l'Etat, França | fionnmcgregor@entpe.fr

Antonin Fabbri | LGCB-LTDS, UMR 5513 CNRS, École Nationale de Travaux Publics de l'Etat, França | antonin.fabbri@entpe.fr

Paulina Faria | CERIS e Dep. de Engenharia Civil da Universidade NOVA de Lisboa, Portugal | paulina.faria@fct.unl.pt

Este estudo experimental tem como objetivo a comparação da higroscopicidade e capacidade de regulação passiva da humidade relativa no interior dos edifícios de três formulações distintas de betão de cânhamo. Estes materiais diferem, fundamentalmente, no tipo de ligante utilizado. A caracterização baseia-se na determinação das curvas de adsorção, da permeabilidade ao vapor de água e do moisture buffering value (MBV).

Verifica-se um crescimento no interesse do uso de materiais de construção amigos do ambiente, tais como o betão de cânhamo, devido à necessidade de minimizar o impacto ambiental do sector da construção nas mudanças climáticas [1] [2]. O betão de cânhamo possui reduzida energia incorporada durante o processo de fabrico devido à sua composição: elevado teor de fibras de cânhamo, um ligante e água que formam uma pasta que aglutina as fibras.

Este material é geralmente usado na construção para enchimento de estruturas de madeira, como placas de revestimento e isolamento pré-fabricadas e na forma de blocos de alvenaria leve [3] [4]. Devido à sua elevada capacidade higroscópica pode ser utilizado como regulador passivo de HR podendo trazer vantagens a nível de economia energética, bem como da saúde e conforto térmico dos habitantes do espaço onde é aplicado [2] [5].

Contudo, estes benefícios dependem do clima da região e condições interiores do edifício, dado que a exposição do material a HR alta durante um longo período de tempo poderá levar ao desenvolvimento de fungos.

Desenvolvimento experimental

O quadro 1 sintetiza as condições de produção e proporções utilizadas nas misturas das três formulações em estudo, com três ligantes distintos [6].

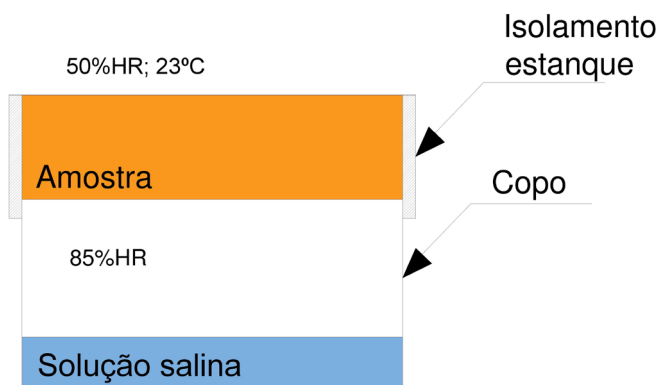
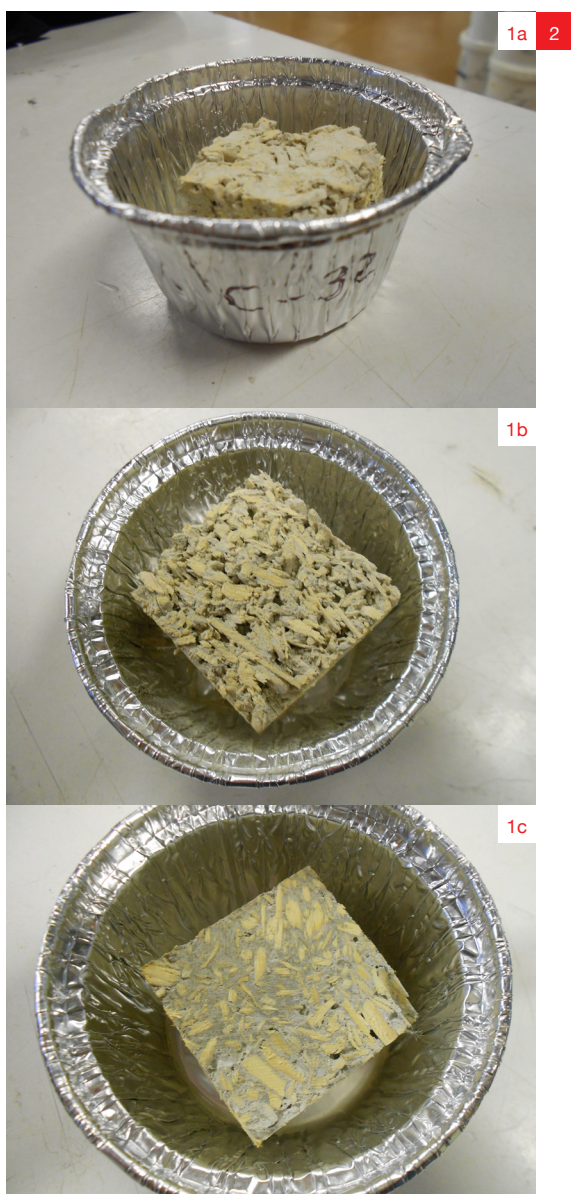
Foram realizados ensaios em regime estacionário para caracterização das amostras, como as curvas de adsorção isotérmica segundo o procedimento experimental da EN ISO 12571 [7] com amostras com mais de 10g, como exemplifica a fig. 1, expostas a seis níveis diferentes de HR (23, 43, 59, 75, 85 e 97%), em caixas

herméticas com ambiente estabilizado com soluções salinas. Foi ainda testada a permeabilidade ao vapor de água de acordo com a EN ISO 12572 [8] utilizando o método da “cápsula húmida”, em que as amostras de cada betão com 5 cm de espessura e 16 cm de diâmetro foram preparadas como ilustrado na fig. 2.

Para a definição das trocas dinâmicas entre o ar e a amostra e a caracterização do contributo do material para o equilíbrio da HR em dado ambiente foi realizado o ensaio de MBV seguindo o protocolo Nordtest [9]. Para este fim, foram utilizados provetes cilíndricos com 16 cm de diâmetro e diferentes espessuras (5, 10 e 15 cm). Através deste ensaio obteve-se o valor de MBV_{prático} calculado segundo o método Nordtest [10]. A relação entre as propriedades dinâmicas e estacionárias foi obtida através do modelo desenvolvido no protocolo Nordtest [10], denominado MBV_{ideal}.

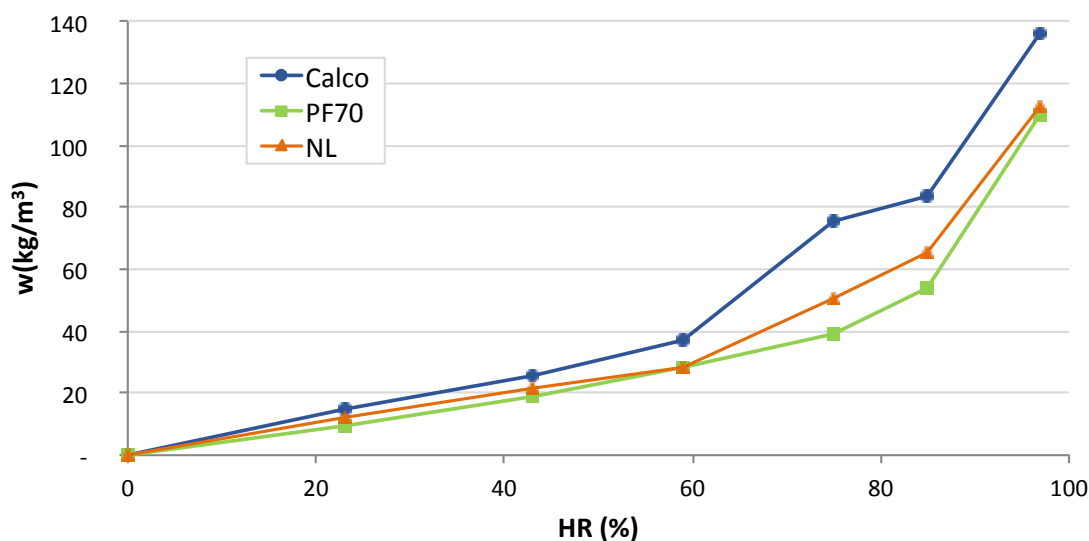
Quadro 1 | Proporções das formulações de betão de cânhamo, massa volúmica húmida, preparação dos provetes e condições de cura

Material	PF70	Calco	NL
Ligante	Ligante à base de cal aérea (Tradical 70)	Ligante à base de cal hidráulica	Formulação desenvolvida por Grupo Parex
Cânhamo/Ligante (-)	0.33	0.33	0.42
Água/Ligante (-)	0.81	0.88	-
Massa volúmica a fresco (kg/m ³)	780	700	-
Produção	Apilado (no molde)	Apilado (no molde)	Por projeção (no molde)



1 | Exemplo de amostras dos betões utilizadas no ensaio de adsorção isotérmica (a – Calco; b – PF70; c – NL).

2 | Esquemática do método da "cápsula húmida".



3

Outra informação que se pretende aferir está relacionada com a espessura de material que está ativa durante os ciclos diários de *moisture buffering*. Esta espessura é designada por profundidade de penetração de humidade e pode ser avaliada através de dois modelos analíticos $d_{p,1\%}$ e $d_{1/e}$ [11].

Resultados e discussão

No decorrer do ensaio das curvas de adsorção todos os betões em estudo demoraram, aproximadamente, dois meses para estabilizar em cada nível de HR, exceto a 97% de HR. Para esta HR as amostras estiveram um período de tempo ainda mais prolongado a estabilizar, o que levou ao desenvolvimento de fungos, inviabilizando o equilíbrio destas amostras.

Contudo, este facto não é considerado um problema, pois num edifício não é comum a existência de HR tão elevadas durante tão longos períodos de tempo.

As curvas de adsorção dos três betões apresentam a mesma tendência (fig. 3). Contudo, o Calco apresenta teor em água superior para HR superior a 60%.

Embora os três betões caracterizados apresentem grande histerese [6], para efeitos de cálculo considerou-se unicamente a capacidade de retenção de humidade calculada através das curvas de adsorção para HR entre 23% e 75%. Portanto, a capacidade de retenção de humidade do Calco, PF70 e NL foi de 110.2 kg/m³, 56.5 kg/m³ e 70.3 kg/m³, respetivamente.

3 | Curvas de adsorção dos betões Calco, PF70 e NL.

Foram feitas algumas correções nos resultados experimentais do método da “cápsula húmida” [11] de modo a obter resultados considerados mais realistas (quadro 2). No quadro 2 observa-se que os betões PF70 e NL tiveram comportamento semelhante, enquanto o Calco foi ligeiramente mais permeável ao vapor de água.

Na fig. 4 apresentam-se os resultados de captação e libertação de humidade durante três dias/ciclos para as amostras de Calco, PF70 e NL, respetivamente, com espessuras diferentes (5, 10 e 15 cm). NL apresenta uma ligeira diferença entre a amostra de 15 cm e as restantes. Contudo, a diferença máxima ocorre no último ciclo entre 15 cm e 10 cm ($\approx 8\%$). Nos resultados do ensaio de MBV para PF70 a máxima diferença ocorre no último ciclo e foi 13%, aproximadamente, entre 5 cm e 15 cm. Será importante observar que os resultados obtidos para todas as espessuras ensaiadas de Calco obtiveram valores de captação de humidade distintos. Como se poderá observar no quadro 3 o MBV_{prático} obtido para o Calco foi superior em relação às restantes formulações. A espessura que obteve maior MBV foi a maior e este foi diminuindo com a redução das espessuras. O quadro 3 faz o resumo dos

Quadro 2 | Valores médios de permeabilidade ao vapor de água e factor de resistência ao vapor de água dos betões de cânhamo

	δ	μ (-)	
	(kg/s.m.Pa)	Valor médio	Desvio padrão
Calco	3.09E-11	6.15	0.15
PF70	2.36E-11	8.07	0.50
NL	2.38E-11	7.98	0.36

Quadro 3 | MBV para cada espessura de betão

Formulações	Espessuras (cm)	MBV (g/(m ² .%RH))	
		Valor médio	Desvio padrão
Calco	15	3.21	0.34
	10	2.23	0.18
	5	1.98	0.09
PF70	15	1.75	0.02
	10	1.71	0.05
	5	1.56	0.05
NL	15	1.65	0.07
	10	1.53	0.04
	5	1.60	0.07

Quadro 4 | MBV_{ideal} vs MBV_{prático}

	Calco	PF70	NL
MBV _{ideal} (g/m ² /%)	5.16	3.23	3.62
MBV _{prático} (g/m ² /%)	2.53	1.66	1.59
Diferença relativa (%)	103.82	94.96	127.09

MBV_{prático} obtidos para todas as formulações com diferentes espessuras e pode observar-se que a espessura não tem impacto significativo nos betões PF70 e NL.

No quadro 4 são comparados o MBV_{ideal} com o MBV_{prático} para todas as formulações. Os valores de MBV_{prático} apresentados são uma média entre os valores obtidos nas várias espessuras, podendo apenas ser tomados como um valor de referência para o Calco, uma vez ter resultados tão distintos. Pode ser observado que o MBV_{ideal} foi sobrestimado quando comparado com o MBV_{prático} em todas as formulações. Todavia, o MBV_{ideal} é um valor aproximado e depende do valor obtido da capacidade de retenção de humidade e permeabilidade ao vapor de água de cada betão. E ainda pode existir uma fonte de erro ligada aos ensaios de que esta aproximação depende, bem como um problema de modelação associado ao material.

A espessura de penetração é a espessura necessária de um material sem revestimento para otimizar a sua capacidade de regulação passiva da HR. Durante o procedimento experimental foi desenvolvido um método inovador [6] nas amostras em estudo, que consta na colocação de higrómetros no interior das amostras durante os ciclos de MBV. Conclui-se que a espessura de penetração experimental foi entre 4 cm e 8 cm para Calco e inferior a 5 cm

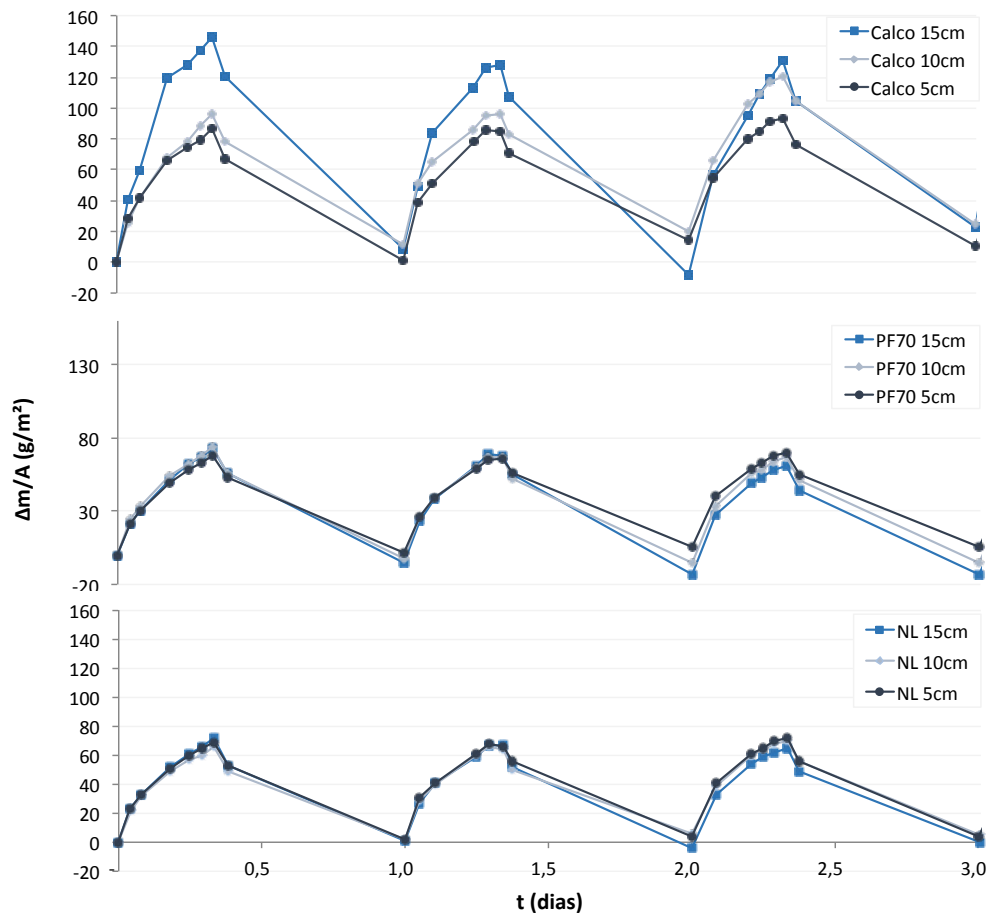
Quadro 5 | Espessura de penetração teórica obtida para os modelos d_{1/e} e d_{p,1%}

	d _(1/e) (cm)	d _{p,1%} (cm)
PF70	0.57	2.62
NL	0.51	2.36
Calco	0.47	2.14

para as restantes formulações. O valor experimental da espessura de penetração no Calco [6] poderá ser explicado pela presença de dois orifícios verticais nas amostras, que resultaram de ensaios anteriormente realizados. Estes orifícios poderão ser responsáveis por maior espessura de penetração e, consequentemente, proporcionar valores díspares observados na capacidade de MBV.

Os resultados do cálculo da espessura de penetração utilizando os dois modelos teóricos d_{p,1%} e d_{1/e} são apresentados no quadro 5. Nenhuma das aproximações teóricas conduziu

a resultados coerentes com os valores experimentais anteriormente referidos. No entanto, o valor teórico da espessura de penetração é estimado assumindo uma variação sinusoidal da HR à superfície das amostras, que não é o que acontece nas condições do ensaio Nordtest. Outra explicação poderá estar relacionada com as condições assumidas para estimar o valor teórico da espessura de penetração (existência de migração de água, sem histerese nas curvas de adsorção, etc.), que pode não ser válido para o material em estudo. Contudo, mais estudos são necessários para se poderem confirmar tais tendências.



4

Conclusão

Os resultados obtidos para as curvas de adsorção de humidade são muito próximos para dois dos três betões em estudo: PF70 e NL. A curva de adsorção do Calco registou maior teor de água que as dos restantes betões de cânhamo, fundamentalmente para HR elevadas (>60%). Independentemente do valor do teor de água alcançado, decorreu um longo período de tempo até o teor de água estabilizar para todos os betões. A permeabilidade ao vapor de água de todos os betões foi elevada.

O $MBV_{prático}$ do PF70 e NL apresenta resultados semelhantes para todas as espessuras, o que a nível de regulação passiva da HR está classificado como bom [9]. O MBV_{ideal} , que é calculado através das propriedades em regime estacionário, apresenta valores sobrestimados para todos os betões comparando com o $MBV_{prático}$. Considera-se ser necessário mais investigação relativamente a este modelo teórico neste tipo de materiais.

De forma a beneficiar em pleno da capacidade de regulação passiva da HR a espessura mínima recomendada para betões de cânhamo é de 5 cm. Relativamente aos modelos teóricos adotados para o cálculo da espessura de penetração, também aqui será necessária mais investigação, bem como em relação aos ensaios de que estes dependem. ■

BIBLIOGRAFIA

- [1] M. K. Dixit; J. L. Fernández-Solís; S. Lavy; C. H. Culp (2010). "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review," *Energy Build.*, vol. 42, no. 8, p. 1238–1247.
- [2] P. Melià; G. Ruggieri; S. Sabbadini; G. Dotelli (2014). "Environmental impacts of natural and conventional building materials: A case study on earth plasters," *J. Clean. Prod.*, vol. 80, p. 179–186.
- [3] A. Evrard (2006). "Sorptions behaviour of Lime-Hemp Concrete and its relation to indoor comfort and energy demand," in *23rd International Conference on Passive and Low Energy Architecture*, p. 1553–1557.
- [4] F. Collet; J. Chamoin; S. Pretot; C. Lanos (2013). "Comparison of the hygric behaviour of three hemp concretes," *Energy Build.*, vol. 62, p. 294–303.

4 | Resultados do ensaio de Moisture Buffering para os betões Calco (a), PF70 (b) e NL (c).

- [5] F. McGregor (2014). "Moisture buffering capacity of unfired clay masonry, PhD thesis," University of Bath.
- [6] T. Simões (2015). "Moisture buffering capacity of earth mortar plasters and hemp concrete Effect of temperature and thickness, MSc Dissertation," NOVA University of Lisbon.
- [7] CEN (2000). "ISO 12571 – Hygrothermal performance of building materials and products Determination of hygroscopic sorption properties".
- [8] CEN (2001). "ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of hygroscopic sorption properties".
- [9] C. Rode; R. H. Peuhkuri; L. H. Mortensen; K. K. Hansen; B. Time; A. Gustavsen; T. Ojanen; J. Ahonen; K. Svennberg; J. Arfvidsson (2005). "Moisture buffering of building materials," Technical University of Denmark, Denmark.
- [10] C. Rode; R. Peuhkuri; B. Time; K. Svennberg; T. Ojanen; P. Mukhopadhyaya; M. Kumaran; S. W. Dean (2007). "Moisture Buffer Value of Building Materials," *J. ASTM Int.*, vol. 4, no. 1, p. 8.
- [11] T. Simões; F. McGregor; A. Fabbri; P. Faria (2016). "Contributo de betões de cânhamo na regulação passiva da humidade no interior dos edifícios," in *V FICAL*, no. 1, p. 307-316.