

INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE MICROCÁPSULAS DE PCM EM ARGAMASSAS DE CAL AÉREA

Sandra R. Cunha^{1*}, José B. Aguiar¹, Vânia Martins¹, Victor M. Ferreira² e António Tadeu³

1: Departamento de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal
e-mail: sandracunha86@gmail.com, web: <http://www.civil.uminho.pt/>

2: Departamento de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro
Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal
e-mail: victorf@ua.pt, web: [http:// http://www.ua.pt/civil](http://http://www.ua.pt/civil)

3: Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
e-mail: tadeu@dec.uc.pt, web: <http://www.uc.pt/fctuc/dec>

Palavras-chave: Materiais de Mudança de Fase (PCM), Argamassas térmicas, Trabalhabilidade, Resistências mecânicas, Retração

Resumo. *O despertar da consciência ambiental pela sociedade, tem levantado problemas até então ignorados tais como os consumos energéticos. Numa sociedade com um elevado ritmo de crescimento e padrões de conforto cada vez mais maiores, surge a necessidade de minimizar os elevados consumos energéticos, tirando partido de fontes de energia renováveis. As argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) possuem a capacidade de regular a temperatura no interior dos edifícios, contribuindo desta forma para o aumento do nível de conforto térmico e diminuição do recurso a equipamentos de climatização, apenas com recurso à energia solar. Contudo, a incorporação de materiais de mudança de fase em argamassas modifica algumas das suas principais características. Portanto, o principal objetivo deste estudo consistiu na caracterização de argamassas aditivadas com dois materiais de mudança de fase diferentes. Desta forma, foram estudadas propriedades específicas dos diferentes materiais de mudança de fase, tais como granulometria, forma e entalpia. Assim como, as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas aditivadas com dois materiais de mudança de fase distintos. Para tal foram desenvolvidas 9 composições distintas, sendo que inicialmente estas foram aditivadas com microcápsulas de material de mudança de fase A e posteriormente aditivadas com microcápsulas de material de mudança de fase B. Tendo sido possível observar que a incorporação de materiais de mudança de fase em argamassas à base de cal aérea provoca diferenças significativas em propriedades tais como a resistência à compressão, resistência à flexão e retração. Após o estudo do desempenho das argamassas com incorporação dos dois materiais de mudança de fase, foi possível selecionar a composição com um melhor compromisso entre a sua aparência estética, características físicas e mecânicas.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, cada vez mais a sociedade se preocupa com a qualidade do meio ambiente e as condições de habitabilidade. Portanto, existe uma enorme preocupação relacionada com os elevados consumos energéticos nos edifícios e com os impactos negativos para o meio ambiente associados aos mesmos. Desta forma, surge a necessidade de se desenvolverem e estudarem novas soluções construtivas que permitam a minimização desta problemática.

Sabendo-se que grande parte dos consumos energéticos no sector residencial estão associados ao aquecimento e arrefecimento, torna-se imperativo obter uma solução construtiva que permita minimizar estes consumos, melhorando o nível de conforto no interior dos edifícios, sem prejuízo para o meio ambiente. Portanto, é importante utilizar soluções construtivas que com recursos a fontes de energia renováveis proporcionem uma melhoria na qualidade do meio edificado, principalmente no nível de conforto dos seus ocupantes.

A utilização de materiais de mudança de fase (PCM) em argamassas de revestimento interior nos edifícios constitui uma possível solução para a minimização dos consumos energéticos. Uma vez que, a utilização deste tipo de materiais permite a regulação da temperatura no interior dos edifícios, através do armazenamento térmico, com recurso apenas à energia solar.

O armazenamento térmico associado aos materiais de mudança de fase apresenta as seguintes vantagens: uniformização na solicitação da energia da rede, diminuindo a carga e eventual colapso dos sistemas de fornecimento; diminuição dos gastos com a fatura elétrica, pela deslocalização temporal do consumo energético para períodos de vazio; contribuição para o aumento do conforto térmico no interior dos edifícios, pelo armazenamento e utilização do calor associado à energia solar (em particular para o aquecimento durante o inverno) e do fresco associado à ventilação natural noturna (em particular para o arrefecimento durante o verão) reduzindo assim o recurso a aquecedores e a sistemas de ar condicionado [1] [2].

A incorporação de materiais de mudança de fase em argamassas interiores, com o intuito de diminuir os consumos energéticos, permite-nos traçar novos caminhos para obter uma construção com maior valor de sustentabilidade. Portanto, é importante que a indústria da construção seja inovadora e aposte em soluções que permitam a resolução de problemas com vários anos.

Os materiais de mudança de fase têm vindo a ser aplicados com sucesso na indústria da construção civil, no entanto pouco se sabe acerca da comparação do desempenho de materiais de construção, tais como argamassas de revestimento, aditivadas com estes materiais. Desta forma, o principal objetivo deste trabalho consiste no estudo e comparação de uma argamassa de cal área aditivada com dois materiais de mudança de fase distintos existentes no mercado. Pretendendo-se estudar o comportamento mecânico das argamassas desenvolvidas assim como a retração originada pela inclusão do PCM.

2. MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE

Os materiais de mudança de fase possuem a capacidade de alterar as suas propriedades de acordo com as características do ambiente em que são aplicados. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este transita do estado sólido para o estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Posteriormente quando a temperatura diminui, e atinge o ponto de solidificação do PCM, este transita novamente do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia anteriormente armazenada (figura 1).

Os materiais de mudança de fase com transição da fase sólida para a líquida, são os preferidos para o armazenamento de energia térmica, uma vez que a sua mudança de volume é muito menor do que a associada à mudança do estado gasoso para o líquido, ou do estado gasoso para o sólido [4] [5].

Em 1983, surgiu a primeira classificação das substâncias utilizadas para armazenamento térmico. Estas são classificadas como orgânicas, inorgânicas e misturas eutécticas. Os materiais orgânicos podem ser parafínicos e não-parafínicos, possuindo normalmente uma fusão congruente, mudando de fase vezes sem conta e sem degradação. Os materiais inorgânicos são classificados como sais

hidratados e metálicos. Os sais hidratados são o grupo mais importante dos PCM e têm vindo a ser extensivamente estudados para a sua utilização em sistemas de armazenamento térmico. As suas propriedades mais atraentes são o alto calor de fusão por unidade de volume, alta condutibilidade térmica (quase o dobro da parafina), e pequenas mudanças de volume durante a fusão. Os sais metálicos ainda não foram seriamente considerados para armazenamento térmico devido ao seu peso. As misturas eutécticas resultam da combinação de dois ou mais compostos de natureza orgânica, inorgânica ou ambas, apresentando desta forma temperaturas de transição mais aproximadas às necessidades existentes, comparativamente com os compostos que as originam, individualmente [6].

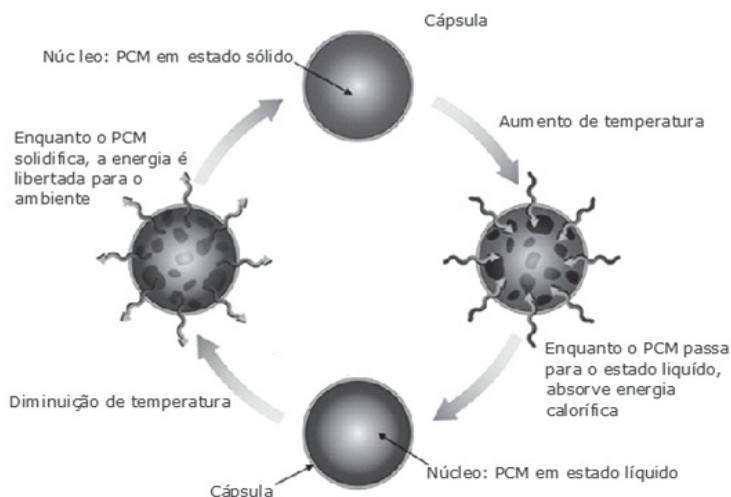


Figura 1. Processo de mudança de fase do PCM [3].

Nem todos os PCM existentes podem ser utilizados para o armazenamento térmico. Um PCM ideal deve possuir algumas propriedades termofísicas, cinéticas, químicas e económicas desejáveis. Relativamente às propriedades termofísicas é necessário que o PCM seleccionado possua uma temperatura de transição na gama de temperaturas de operação desejadas, com o intuito de garantir o armazenamento e libertação de calor. Assim como elevado calor de transição por unidade de volume, de modo a armazenar o máximo de energia possível incorporando a quantidade mínima de PCM; elevado calor sensível, traduzido pela sua capacidade calorífica, de modo a aumentar a sua capacidade de armazenamento de energia; elevada condutibilidade térmica tanto no estado sólido como no estado líquido, de forma a mais facilmente promover a transferência de calor e reduzida variação de volume durante a transição de fase de forma a reduzir os problemas com a sua contenção. Do ponto de vista cinético, o PCM escolhido deve ter uma elevada velocidade de crescimento dos cristais, com o objetivo de evitar o sub-arrefecimento da fase líquida e responder às solicitações do meio envolvente. No que diz respeito às suas propriedades químicas não deverá apresentar degradação após um grande número de ciclos, deverá ser não corrosivo para os materiais de construção, não inflamável, não tóxico e não explosivo, por razões ambientais e de segurança. Finalmente, sob o ponto de vista económico este deve ser abundante, disponível e com baixo custo de aquisição, de forma a se tornar uma solução competitiva com outros sistemas construtivos [7].

Para a correta utilização do PCM, este deve ser encapsulado, caso contrário, durante a fase líquida pode correr-se o risco deste se deslocar do local em que foi aplicado. Existem duas principais formas de encapsulamento: microencapsulamento e macroencapsulamento. O macroencapsulamento baseia-se na introdução de PCM em tubos, painéis ou outro recipiente de grandes dimensões, geralmente com dimensões superiores a 1 cm de diâmetro. O microencapsulamento consiste na

colocação de uma pequena massa molecular em pequenas partículas, revestidas por polímeros de alto desempenho, com dimensões inferiores a 1 μm de diâmetro, sendo as suas dimensões preferenciais de 1 a 60 μm [8].

A incorporação de materiais de mudança de fase em edifícios possui impactos benéficos nas dimensões social, económica e ambiental, demonstrando assim um contributo significativo para uma construção com maior valor de sustentabilidade. Os benefícios sociais estão diretamente relacionados com o aumento do conforto térmico no interior das habitações, sendo este atualmente um requisito relevante para a obtenção de um edifício de qualidade. O aumento do conforto térmico é conseguido através da capacidade de armazenamento do PCM, permitindo armazenar e libertar energia, mantendo as temperaturas interiores sensivelmente constantes, ou pelo menos com variações inferiores. A utilização de soluções construtivas modificadas com a incorporação de PCM, possui ainda um efeito benéfico na humidade interior dos espaços, o que sem dúvida conduzirá a uma diminuição de eventuais patologias no interior dos edifícios. O aspeto ambiental encontra-se relacionado com a redução do recurso a fontes de energia não renováveis, uma vez que esta tecnologia possui um efeito termo-regulador do ambiente interior dos edifícios, proporcionando uma diminuição da utilização dos equipamentos de climatização, que também permite reduzir as emissões de gases poluentes para a atmosfera. A dimensão económica diz respeito à adequação da tecnologia e custos associados à sua implementação. Os custos inerentes à sua aplicação devem ser facilmente suportados e amortizados pelo utilizador. Pode ainda referir-se que, os benefícios económicos da diminuição dos consumos energéticos e desfasamento dos mesmos para fora das horas de maior procura, são evidentes e podem ser conseguidos através do armazenamento térmico. A amortização e rentabilidade de uma solução com incorporação de PCM, é fortemente influenciada pelo preço do PCM e deve ser estudada antes da aplicação da tecnologia construtiva. No entanto, o aumento do preço da energia praticado nos últimos anos e a forte dependência de Portugal em termos energéticos, devem ser fatores a ponderar na estimativa de rentabilidade deste tipo de soluções.

3. MATERIAIS, COMPOSIÇÕES E FABRICO

3.1. Materiais

Nesta investigação foram utilizados dois tipos distintos de microcápsulas de PCM, sendo designadas como Microcápsulas A e Microcápsulas B. Ambas as amostras foram utilizadas na forma de pó, ou seja completamente secas, contudo existe também a possibilidade de se obter o mesmo material em emulsão. Neste estudo optou-se por utilizar o PCM seco de modo a facilitar a sua incorporação em argamassas prontas.

Tendo como objetivo o conhecimento das microcápsulas de PCM a incorporar nas argamassas foram efetuados ensaios, comparando o PCM fornecido por dois produtores diferentes. As Microcápsulas A são constituídas por uma parede em polimetilmetacrilato e um núcleo em parafina, com temperatura de transição de 23°C e entalpia de 110 kJ/kg. As Microcápsulas B são constituídas por uma parede em melamina-formaldeído, com temperatura de transição de 24°C e entalpia de 147.9 kJ/kg. Através de ensaios realizados com recurso ao microscópio eletrónico de varrimento de alta resolução, foi possível observar, que o polímero presente nas Microcápsulas A é mais rugoso (figura 2), comparativamente ao polímero utilizado nas Microcápsulas B (figura 3) que apresenta uma textura mais regular.

Com o objetivo de obter dados mais precisos relacionados com as dimensões das microcápsulas de PCM das duas amostras em estudo, foram realizados ensaios de granulometria, com recurso a um granulómetro laser. Sendo possível observar que as microcápsulas A se encontram aglomeradas, apresentando uma dimensão maior quando observadas ao microscópio eletrónico. Contudo, a agitação que a amostra sofre durante a realização deste ensaio permite a dispersão das micropartículas aglomeradas. Concluindo-se desta forma que as Microcápsulas A apresentam um tamanho médio de partícula de 15.40 μm e as Microcápsulas B de 25.22 μm .

O superplastificante utilizado é baseado em poliácrlato, com densidade de 1050kg/m³. A areia

apresenta um tamanho de partícula médio de 439,9 μm e uma massa volúmica real de 2600 kg/m^3 . A cal utilizada nas composições é hidratada, com um grau de pureza de 90% e massa volúmica real de 2450 kg/m^3 . O gesso utilizado apresenta elevada finura e massa volúmica real de 2740 kg/m^3 . Por último, as fibras utilizadas são fibras sintéticas de nylon, com um comprimento de 6 mm e densidade de 1380 kg/m^3 .

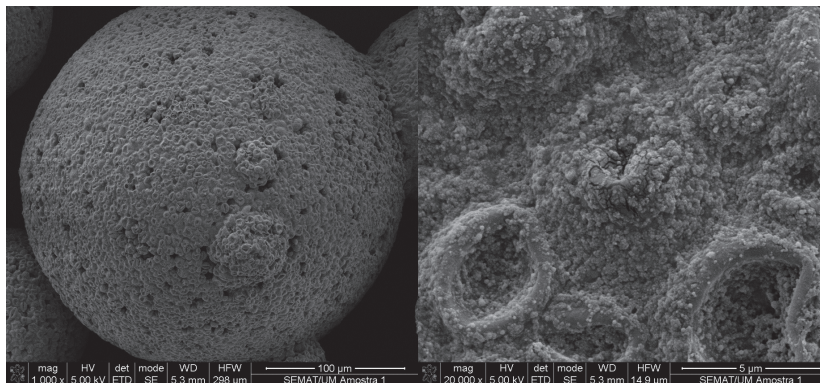


Figura 2. Observação da superfície do polímero das Microcápsulas A.

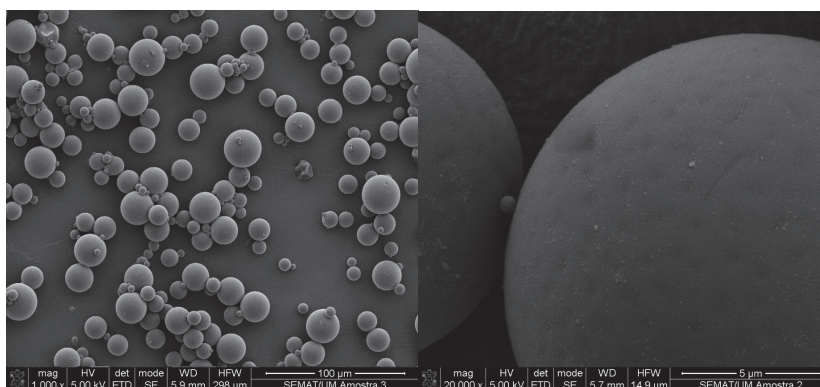


Figura 3. Observação da superfície do polímero das Microcápsulas B.

3.2. Composições e fabrico

Tendo em vista a seleção da composição final, foi realizada uma campanha experimental com o objetivo de caracterizar as composições produzidas.

Nas argamassas estudadas fez-se variar a percentagem de PCM em 0%, 10%, 20% e 30%. Com o intuito de contornar alguns problemas relacionados com a retração das argamassas e consequente fissuração foram incorporadas fibras de nylon, superplastificante e gesso.

As composições estudadas apresentam-se na tabela 1. Através da sua análise é possível observar a existência de 9 composições distintas. As quais são constituídas por diferentes percentagens de cal, gesso e PCM. Em todas as composições sem incorporação de PCM, optou-se por não utilizar superplastificante devido ao seu efeito dispersor, o que provocava uma ligeira segregação na argamassa obtida.

O processo de mistura e fabrico dos provetes foi efetuado de acordo com norma EN 1015-11, com ligeiras adaptações devido à incorporação do PCM [9].

Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão e flexão) das

diferentes composições, foram moldados 3 provetes prismáticos com 40x40x160 mm³. Após o seu fabrico, todos os provetes foram conservados durante 7 dias em sacos de polietileno, sendo posteriormente colocados em laboratório à temperatura ambiente (cerca de 22 °C) durante 21 dias.

Tabela 1. Composição das argamassas (PCM, Fibras e Superplastificante em % da massa total de Areia, Gesso e Cal. Areia e Gesso em % da massa de Cal).

Composição	Areia	PCM	Fibras	Gesso	Superplastificante
L100G0	561.4	0.0	0.0	0.0	0.0
L100G0PCM20	561.4	20.0	0.0	0.0	1.0
L100G0PCM20F	561.4	20.0	0.1	0.0	1.0
L90G10F	561.4	0.0	0.1	10.0	0.0
L90G10PCM10F	561.4	10.0	0.1	10.0	1.0
L90G10PCM20F	561.4	20.0	0.1	10.0	1.0
L90G10PCM30F	561.4	30.0	0.1	10.0	1.0
L80G20PCM20F	561.4	20.0	0.1	20.0	1.0
L60G20PCM20F	561.4	20.0	0.1	40.0	1.0

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Trabalhabilidade

Os ensaios de trabalhabilidade foram realizados com o objetivo de conferir uma trabalhabilidade adequada ao manuseio das argamassas desenvolvidas, tendo sido realizados com base no método da mesa de espalhamento, especificado pela norma europeia EN 1015-3 [10]. O valor resultante do ensaio apenas foi considerado, quando compreendido entre 160-180 mm.

Foi possível verificar variações na quantidade de água a adicionar à argamassa de acordo com a incorporação de microcápsulas de PCM, tendo em conta a quantidade e o tipo de material incorporado. De acordo com a figura 4 foi possível observar que a incorporação de 20% de Microcápsulas A, provoca um incremento na quantidade de água de cerca de 62%. O que pode ser explicado pela finura característica do PCM utilizado e pela absorção da parede polimérica que reveste o material de mudança de fase. Contudo, a incorporação de Microcápsulas B provoca também um aumento na quantidade de água, mas menor, sendo este de apenas cerca de 12%. Este comportamento pode ser justificado pela utilização de cápsulas revestidas com um polímero menos rugoso e com dimensões superiores.

A incorporação de fibras não provocou qualquer alteração na quantidade de água a adicionar à argamassa, no entanto verificou-se uma ligeira diminuição no diâmetro de espalhamento obtido, para as argamassas aditivadas com Microcápsulas A e B.

A incorporação de 10% de gesso provocou um ligeiro aumento na quantidade de água. Sendo que, para uma mesma argamassa um aumento de 20% de gesso, originou um aumento de cerca de 4% na quantidade de água adicionada à argamassa.

4.2. Comportamento mecânico

A avaliação das resistências mecânicas foi feita com base no estudo do comportamento das argamassas à compressão e flexão, sendo que ambos foram avaliados com base na EN 1015-11.

Para o comportamento em flexão foram utilizados provetes prismáticos com dimensões de 40x40x160mm³. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 10N/s. O comportamento em compressão foi avaliado efetuando a aplicação da carga no provete com recurso a uma peça metálica, suficientemente rígida para uniformizar a carga vertical. Os provetes utilizados para o ensaio foram as metades resultantes dos ensaios de flexão. Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 50N/s.

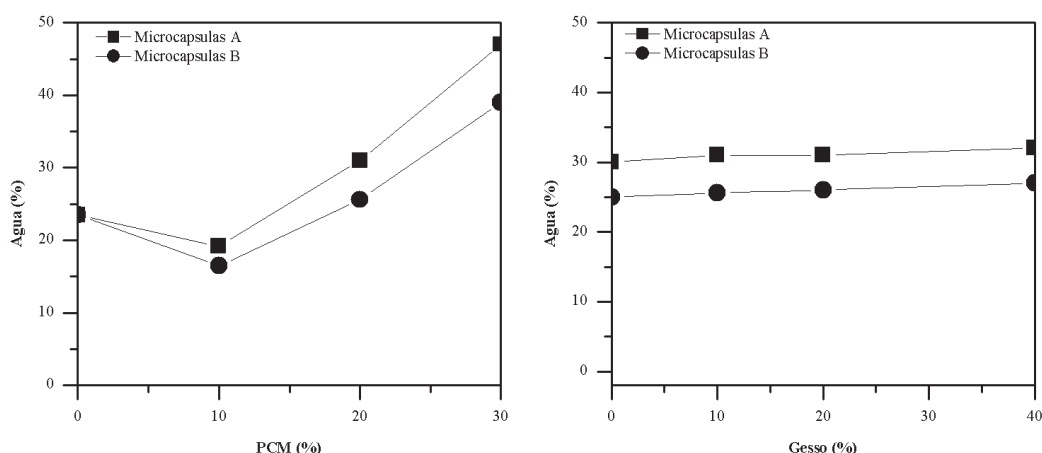


Figura 4. Quantidade de água adicionada à argamassa (em % da massa total de partículas sólidas).

De acordo com os resultados obtidos (figura 5 e tabela 2) é possível observar uma melhoria significativa nas características mecânicas, provocada pela introdução de uma maior quantidade de Microcápsulas A. Contudo, a melhoria nas características mecânicas provocada pela incorporação de Microcápsulas B, é menos significativa. Sendo que, a incorporação de 10% de PCM leva a um aumento do valor da resistência à flexão de cerca de 380% e de cerca de 600% na resistência à compressão, para argamassas aditivadas com Microcápsulas A. Relativamente às argamassas com incorporação de Microcápsulas B o aumento verificado é de cerca de 85% na resistência à flexão e de cerca de 130% na resistência à compressão. Estes valores foram obtidos através da comparação entre o valor obtido para as composições com 10% de PCM relativamente às composições sem incorporação de material de mudança de fase. Este aumento das resistências mecânicas encontra-se relacionado com o aumento da porosidade originado pela introdução de uma maior quantidade de água. Sendo que o aumento da porosidade facilita a carbonatação das argamassas. Sendo que este efeito foi mais notório nas argamassas aditivadas com Microcápsulas A, uma vez que a quantidade de água presente nas argamassas é superior. Verifica-se também uma ligeira diminuição do valor das resistências à flexão e compressão, para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, comparativamente à composição com incorporação de 20% de PCM. O que nos leva a concluir que a percentagem ótima de PCM a adicionar na argamassa é de 20%. No entanto, é possível verificar que o valor obtido para uma percentagem de incorporação de PCM de 30%, é ligeiramente superior ou idêntico ao apresentado pelas argamassas sem incorporação de PCM, o que mais uma vez nos permite concluir o efeito benéfico provocado pela incorporação de PCM nestas argamassas.

4.3. Retração

O estudo da retração apenas foi efetuado para 5 das 15 composições estudadas. Desta forma, foi possível observar a influência da presença de microcápsulas de PCM nas argamassas, assim como a ação provocada pela introdução de fibras de nylon e gesso. Uma vez que, a introdução destes materiais teve como principal objetivo a diminuição e controlo da retração.

Para avaliar a retração, foi desenvolvido um dispositivo capaz de medir as variações de dimensões em vários provetes, desde o instante em que a argamassa foi colocada no molde até à posterior desmoldagem, aos 7 dias (figura 6). Previamente à colocação da argamassa, os moldes do dispositivo de medição foram preparados com um óleo correntemente utilizado em cofragens, tendo como objetivo a eliminação do atrito às superfícies. Após a desmoldagem, foi possível continuar a monitorização da retração ao longo do tempo, com recurso a outro dispositivo de medição.

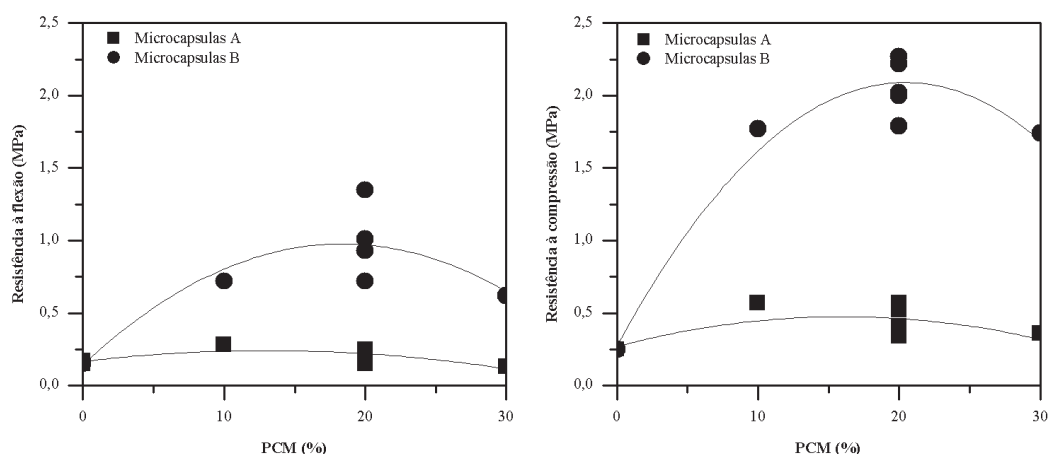


Figura 5. Comportamento à flexão e compressão das argamassas estudadas.

Tabela 2. Resistências mecânicas das argamassas aos 28 dias (entre parêntesis apresentam-se os coeficientes de variação em percentagem).

Composição	Microcápsulas A		Microcápsulas B	
	Resistência à flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
L100G0	0.17 [10.98]	0.25 [8.09]	0.17 [10.98]	0.25 [8.09]
L100G0PCM20	0.93 [11.22]	2.22 [6.09]	0.24 [7.56]	0.41 [8.2]
L100G0PCM20F	0.72 [10.57]	1.79 [5.99]	0.2 [6.93]	0.35 [10.02]
L90G10F	0.15	0.25 [4.00]	0.15	0.25 [4.00]
L90G10PCM10F	0.72 [2.90]	1.77 [5.33]	0.28	0.57 [6.23]
L90G10PCM20F	0.93 [5.80]	2.03 [4.27]	0.15 [9.12]	0.34 [6.97]
L90G10PCM30F	0.62 [6.98]	1.74 [7.54]	0.13 [7.07]	0.36 [12.36]
L80G20PCM20F	1.36 [4.52]	2.27 [10.6]	0.22 [13.93]	0.52 [11.51]
L60G20PCM20F	1.01 [12.72]	2.00 [11.70]	0.25 [10.62]	0.57 [13.11]

O dispositivo desenvolvido consiste numa base para colocação de um molde triplo, com dimensões de $25 \times 25 \times 250 \text{ mm}^3$ e seis transdutores de deslocamento (LVDT). Foi acoplado um transdutor de deslocamento na extremidade de cada amostra, com o objetivo de permitir a medição da retração ao longo do provete. Os transdutores de deslocamento foram conectados a um sistema de aquisição de dados. A quantificação da retração é realizada com base na equação (1):

$$\epsilon = (L_i - L_t) / 250 \quad (1)$$

Onde:

ϵ – Retração;

L_i – Comprimento inicial;

L_t – Comprimento no instante t.

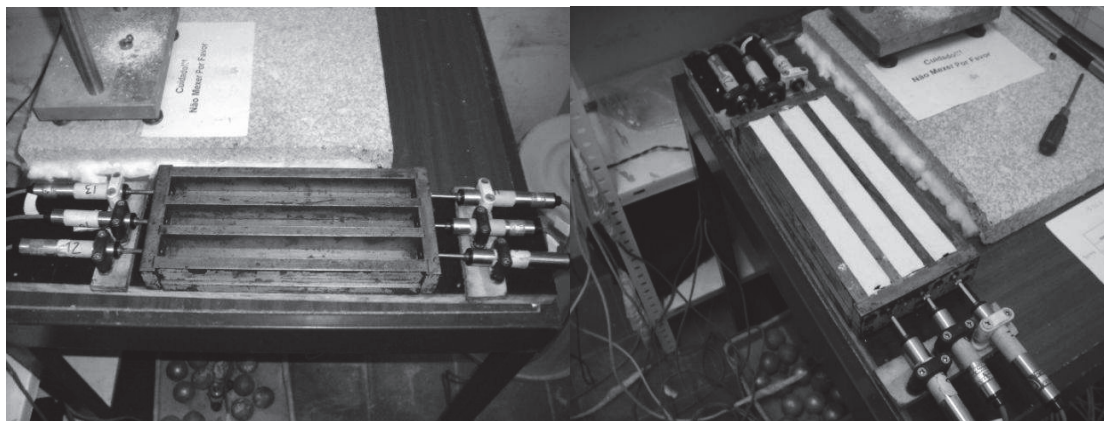


Figura 6. Dispositivo de medição da retração das argamassas no estado fresco.

Os resultados permitiram verificar um aumento no valor medido da retração com a incorporação de microcápsulas de PCM. No entanto, a adição de gesso e fibras de nylon, resulta numa diminuição da retração nas primeiras 24 horas de monitorização (Figura 7), nas argamassas aditivadas com os dois tipos de microcápsulas de PCM.

A análise dos resultados até 7 dias (Figura 8) nas argamassas com incorporação de Microcápsulas A, permitiu identificar diferentes comportamentos nas argamassas testadas. A introdução de 20% de microcápsulas (L100G0PCM20), provocou um aumento na retração de cerca de 300%, relativamente à argamassa de referência (L100G0). A adição de fibras de nylon (L100G0PCM20F), provocou uma diminuição na retração de cerca de 50%, comparativamente com a argamassa L100G0PCM20. Por sua vez a adição de gesso (L80G20PCMF e L60G40PCMF) permite também observar uma diminuição no valor da retração, sendo que a adição de 40% de gesso permite uma redução no valor da retração de cerca de 60%.

De acordo com a figura 9 a incorporação de 20% de Microcápsulas B (L100G0PCM20) provoca um aumento na retração de cerca de 20%, comparativamente com a argamassa de referência (L100G0). Por sua vez, a incorporação de fibras de nylon (L100G0PCM20F) permite verificar uma diminuição de cerca de 30% relativamente à argamassa L100G0PCM20. Por último a incorporação de 40% de gesso (L60G40PCMF) permite observar uma diminuição no valor da retração de cerca de 60%.

O aumento da retração com a incorporação de PCM deve-se à maior quantidade de água utilizada, aumentando a retração por dessecação. A diminuição de retração originada pela inclusão de fibras deve-se a estas impedirem os movimentos no interior das argamassas. Por outro lado, a diminuição de retração verificada com a inclusão de gesso, deve-se à expansão que ocorre com a sua hidratação.

A incorporação de 20% de Microcápsulas B, comparativamente com a incorporação de 20% de Microcápsulas A, provoca uma diminuição no valor medido de retração de cerca de 70%, o que pode ser justificado pela presença de menor teor de água nas mesmas.

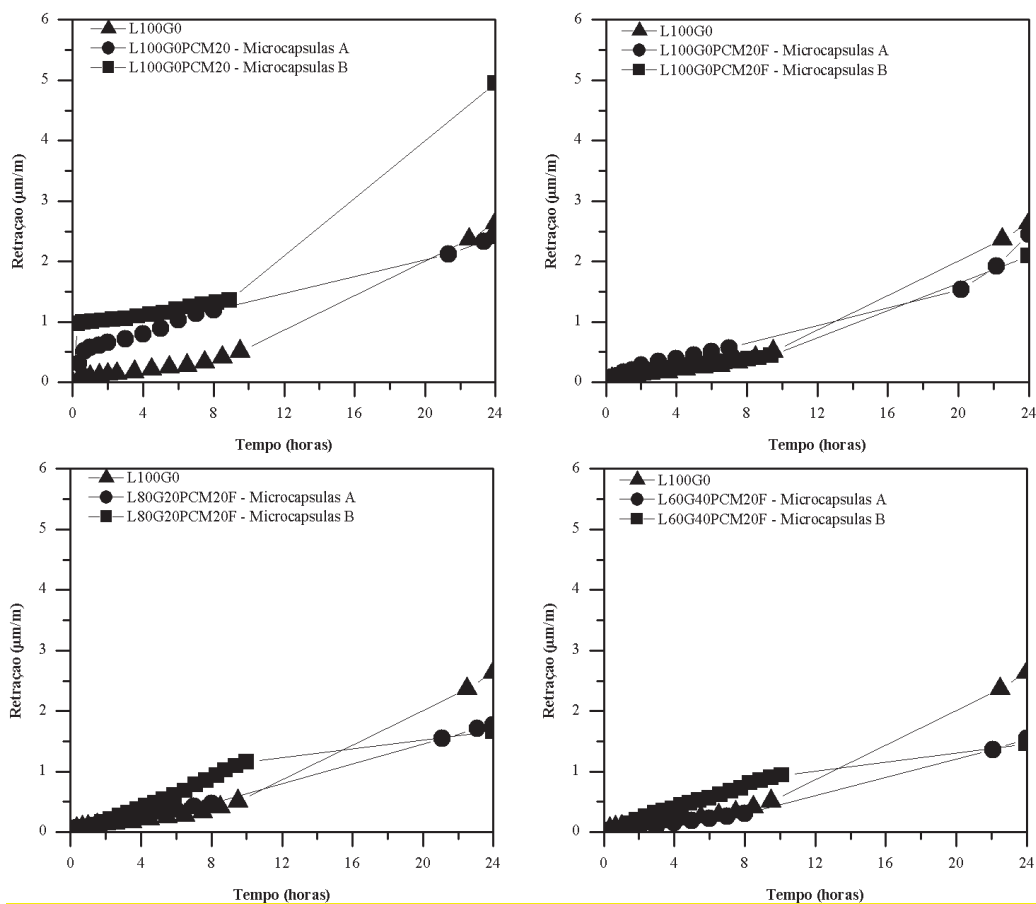


Figura 7. Retração desde a moldagem até às 24 h.

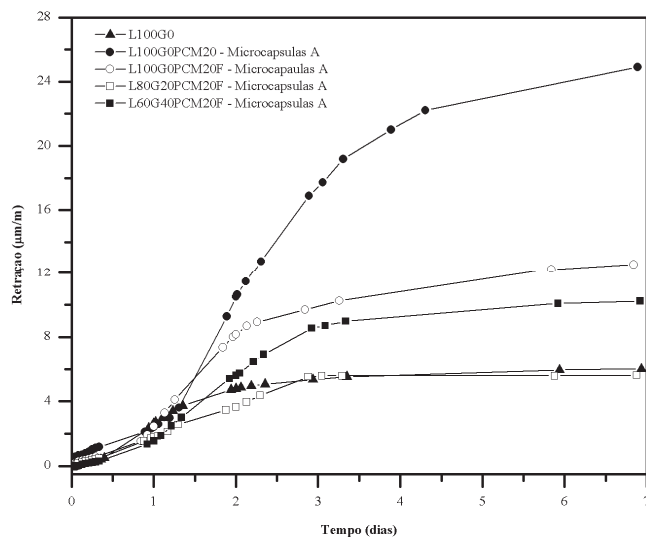


Figura 8. Retração desde a moldagem até aos 7 dias nas argamassas com incorporação de Microcápsulas A.

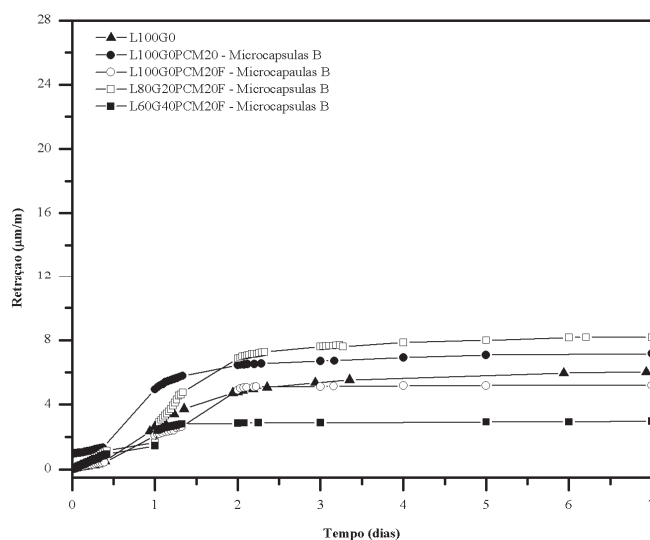


Figura 9. Retração desde a moldagem até aos 7 dias nas argamassas com incorporação de Microcápsulas B.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a utilização de microcápsulas de PCM em argamassas de revestimento para o interior dos edifícios, pode ser encarada como uma solução viável para aplicações na indústria da construção. Uma vez que estas possuem um compromisso entre a sua resistência e aparência estética. Contudo, também se pode verificar que a utilização de materiais de mudança de fase distintos proporciona diferentes características nas argamassas estudadas, o que se encontra relacionado com o tipo de polímero utilizado para construir a parede das microcápsulas.

Os resultados obtidos nos ensaios de retração permitiram concluir que o uso conjunto de fibras e de gesso constitui uma boa solução para os problemas relacionados com a fissuração, causados pela incorporação de microcápsulas de materiais de mudança de fase. Foi ainda possível observar que a utilização de Microcápsulas B proporciona valores de retração inferiores aos verificados nas argamassas aditivadas com Microcápsulas A.

Foi ainda possível verificar um aumento da quantidade de água, com a quantidade de incorporação de materiais de mudança de fase, de forma a obter uma trabalhabilidade adequada para as argamassas aditivadas com os diferentes materiais de mudança de fase, tendo-se verificado um teor de água inferior nas argamassas com incorporação de Microcápsulas B.

O comportamento em compressão e flexão, permite observar um melhor desempenho, para percentagens de incorporação de microcápsulas de PCM entre 15% e 20%. O que pode ser justificado pela necessidade de uma maior quantidade de água em argamassas com incorporação de 30% de PCM, provocando desta forma uma porosidade mais elevada nas mesmas, não compensado pela carbonatação. Foi ainda possível observar que as argamassas com incorporação de Microcápsulas A possuem um melhor desempenho mecânico, comparativamente às Microcápsulas B, o que pode ser justificado pela incorporação de uma maior quantidade de água, o que proporcionou uma maior porosidade, facilitando desta forma a carbonatação das argamassas.

Através da análise dos diferentes ensaios efetuados, é possível concluir que a argamassa com incorporação de 60% de cal aérea, 40% de gesso e 20% de PCM, revelou-se a mais interessante para ambos os materiais de fase testados, tendo mostrado um excelente equilíbrio entre as suas características mecânicas e retração.

AGRADECIMENTOS

Tecnologia pelo financiamento deste trabalho de investigação desenvolvido no âmbito do projeto “Contribuição de Argamassas Térmicas Ativas para a Eficiência Energética dos Edifícios” (PTDC/ECM/102154/2008).

REFERÊNCIAS

- [1] J. Monteiro et al. “Utilização de Materiais Activos em Argamassas”, *Arte & Construção*, Vol. 181, pp. 22-28, (2005).
- [2] N. Silva, J. Aguiar, L. Bragança, T. Freire, I. Cardoso, “Properties of Gypsum-PCM Based Mortars for Interior Plastering of Construction Systems”, *Materials Science Forum*, Vols. 587-588, pp. 913-917, (2008).
- [3] Microteklabs. Encapsulated PCMs: How They Work. Consultado em 1 de Março de 2011, em <http://www.microteklabs.com/how-they-work.html>.
- [4] E. Halawa et al. “Numerical analysis of a PCM thermal storage system with varying wall temperature”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 46, pp. 2592–2604, (2005).
- [5] L. Zhongliang et al. “Numerical analysis of melting with constant heat flux heating in a thermal energy storage system”, *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, pp. 2521–2538, (2002).
- [6] B. Zalba et al. “Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications”, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 23 pp. 251–283, (2003).
- [7] L. Cabeza et al. “Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, pp. 1675-1695, (2011).
- [8] V. Tyagi et al, “Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vols. 15, pp. 1373-1391, (2011).
- [9] European Committee for Standardization (CEN). EN 1015-11, “Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar”, (1999).
- [10] European Committee for Standardization (CEN). EN 1015-3, “Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)”, (2004).