

Ref: CLME'2011\_1509A

## ARGAMASSAS TÉRMICAS À BASE DE CAL

Sandra S. Lucas<sup>1</sup>, Sandra L. Cunha<sup>\*2</sup>, Martin Rucek<sup>3</sup>, José B. Aguiar<sup>1</sup>, Victor S. Ferreira<sup>2</sup>,  
Luís M. Bragança<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Aveiro, Depart. Eng<sup>a</sup> Civil - Aveiro, Portugal

<sup>2</sup>Universidade do Minho, Depart. Eng<sup>a</sup> de Civil - Guimarães, Portugal

<sup>3</sup>Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering - Brno, Czech Republic

\*Email: sandracunha86@gmail.com

**RESUMO:** *Actualmente, as preocupações com o consumo energético dos edifícios são cada vez maiores. Surgindo desta forma, a necessidade de incorporação de materiais em produtos de construção que visem a melhoria da eficiência energética dos edifícios. Portanto, a utilização de materiais de mudança de fase surge como uma possível solução para tentar solucionar, ou pelo menos minimizar, os enormes consumos energéticos associados aos edifícios. Este estudo visa o conhecimento da influência da incorporação de microcápsulas de materiais de mudança de fase (PCM) em argamassas à base de cal, devendo estas possuir um compromisso entre a trabalhabilidade, resistência mecânica e aparência estética.*

### 1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo energético torna-se cada vez mais um tema preocupante, uma vez que o uso excessivo de energia proveniente de fontes não renováveis provoca graves alterações no meio ambiente. Actualmente, grande parte do consumo de energia eléctrica no sector residencial está associado ao aquecimento e arrefecimento. Portanto, torna-se urgente a utilização de materiais de construção, que visem o aumento da eficiência energética dos edifícios.

O armazenamento de energia sob a forma de calor, através da incorporação de materiais de mudança de fase (PCM), 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 factura eléctrica, 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 nocturna (em particular para o arrefecimento durante o Verão), reduzindo assim o recurso a aquecedores e a sistemas de ar condicionado. Este tipo de mecanismos de armazenamento de energia pode assim reduzir as variações de temperatura interior, contribuindo para o aumento do nível de conforto interior [Monteiro, 2005; Silva, 2008; Lucas, 2010].

Como é do conhecimento geral, muitos são os factores que influenciam a temperatura interior dos edifícios. Estes podem estar relacionados com as condições climatéricas, tais como a temperatura exterior, velocidade do vento e radiação solar. As propriedades termofísicas do edifício também são importantes, sendo estas a espessura da parede, condutibilidade térmica, área de envidraçados e disposição dos mesmos. A necessidade de aquecimento e arrefecimento para um determinado edifício, pode ser determinada com base na diferença entre a temperatura de conforto e a temperatura no interior do edifício. Sendo que quanto menor for esta diferença, menores serão as necessidades de aquecimento e arrefecimento [Zhang, 2007].

Em Portugal existem grandes áreas urbanas construídas na década de 90, com graves deficiências de isolamento térmico, apresentando simultaneamente um desafio e uma oportunidade para o sector de reabilitação. Qualquer solução, tanto para edifícios novos como para reabilitação, deve ser baseada na estrutura, material e nas informações climáticas, a fim de definir adequadamente o local, a natureza e a quantidade de PCM a incorporar.

De todas as aplicações de materiais de mudança de fase em edifícios, a mais interessante é a sua incorporação em materiais de construção com o objectivo de alterar as suas propriedades térmicas. Existem uma série de possibilidades: o PCM pode ser usado como um meio de armazenamento térmico para aquecimento solar passivo, podendo ser incorporado no pavimento, parede ou tecto e também fazer parte do mais complexo sistema energético, tais como bombas de calor e painéis solares [Zhang, 2007].

A incorporação de microcápsulas de PCM em argamassas possui benefícios sociais, económicos e ambientais. Os benefícios sociais estão dependentes com o aumento do conforto térmico no interior das habitações, sendo que nos dias que correm este é um requisito de importância relevante e frequentemente apresentado por possíveis compradores e vendedores de imóveis. O aspecto ambiental prende-se com a redução da utilização de combustíveis fósseis, uma vez que esta tecnologia tem como objectivo manter sensivelmente as temperaturas constantes no interior dos edifícios, o que conseqüentemente leva a uma diminuição no recurso a equipamentos de climatização. A dimensão económica encontra-se relacionada com a adequação da tecnologia e os custos de implementação. Pretende-se portanto, que os custos associados à sua aplicação possam ser facilmente suportados e amortizados pelo utilizador. Pode ainda referir-se que os benefícios económicos da deslocalização de consumos energéticos elevados para fora de horas de maior procura são evidentes e podem ser conseguidos através do armazenamento térmico.

Muitos são os investigadores que têm vindo a trabalhar em soluções com incorporação de materiais de mudança de fase em aplicações para a construção.

Castell et al. [2010], incorporaram pequenos painéis contendo PCM em paredes de células de teste com diferentes soluções construtivas. Sendo estas uma solução de tijolo furado e outra com tijolo alveolar. Foram realizados testes em células padrão e portanto sem incorporação de PCM, em células com aplicação de poliuretano expandido e em células com incorporação de painéis contendo PCM. De acordo com os testes realizados foi possível observar que as células contendo PCM, apresentaram condições internas de temperatura constantes e o consumo de energia é menor, não só efectuando uma comparação com as células sem PCM, mas também com as células com poliuretano expandido. Tendo este efeito sido verificado para as duas soluções construtivas.

Darkwa et al. [2006], investigaram o comportamento de duas soluções com incorporação de PCM. Em que num lado utilizaram placas de gesso cartonado, com 12 mm de espessura, impregnadas com PCM de modo a comparar directamente com uma situação, em que aplicaram placas de gesso cartonado simples, com 10 mm de espessura, revestidas por lâminas de PCM com 2 mm. A quantidade de PCM incorporada em ambos os casos foi de 17%. Os resultados demonstraram que a utilização de PCM laminado, é mais eficiente uma vez que contribuiu para um aumento de 17% na temperatura interior mínima.

Lai et al. [2010], realizaram um estudo em que adicionaram microcápsulas de materiais de mudança de fase em placas de gesso, fazendo variar a percentagem de PCM em 23%, 30% e 40%. Com este trabalho foi possível concluir que a capacidade de armazenamento térmico aumenta com o incremento da percentagem de PCM adicionada.

O principal objectivo deste trabalho consiste na produção de uma argamassa à base de cal com incorporação de microcápsulas de PCM, devendo esta possuir um compromisso entre a trabalhabilidade, resistência mecânica e aparência estética. Podendo estas argamassas ser aplicadas não só na construção nova de edifícios, mas também em operações de reabilitação.

## 2. MATERIAIS, COMPOSIÇÕES, FABRICO E CONSERVAÇÃO

### 2.1. Materiais

As argamassas estudadas são à base de cal, nas quais se incorporaram microcápsulas de materiais de mudança de fase, fibras de nylon, superplastificante e gesso.

É sabido que todos os materiais interagem com o ambiente, no entanto grande parte dos mesmos não possui capacidade de alterar as suas propriedades de acordo com as características do ambiente em que são aplicados.

Os materiais de mudança de fase (PCM), possuem a capacidade de mudar o seu estado em função da temperatura ambiente. Ou seja, quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este passa de estado sólido para estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Quando a temperatura baixa, e passa o ponto de solidificação do PCM, então este passa do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia armazenada anteriormente, para o ambiente. Este processo encontra-se esquematizado na figura 1.

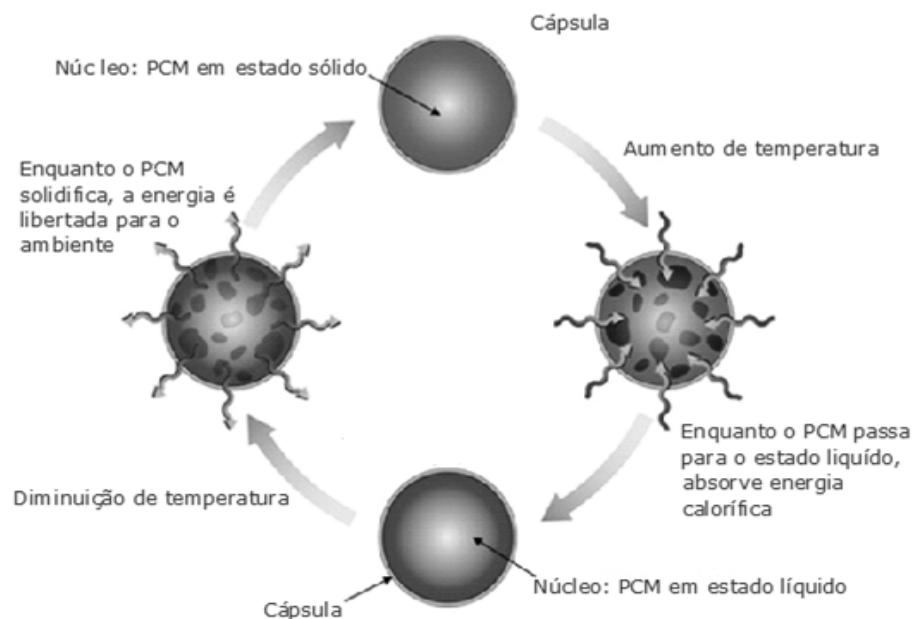


Fig 1. Processo de mudança de fase do PCM [Microteklabs, 2011].

De todos os materiais existentes aquele cuja assimilação do conceito de mudança de fase, torna a percepção mais fácil é a água. A água pode apresentar-se no estado sólido, líquido e gasoso. O processo de transição do estado sólido para o estado líquido, é denominado de fusão e o processo inverso de solidificação, ocorrendo ambos a cerca de 0°C. Por sua vez a transição do estado líquido para o gasoso denomina-se de vaporização e o processo inverso de condensação, ocorrendo a cerca de 100°C. A cada mudança de estado encontra-se associada uma quantidade de energia, denominada de entalpia.

Em 1983, surgiu a primeira classificação das substâncias utilizadas para armazenamento térmico. Estas são classificadas como orgânicas, inorgânicas e misturas eutécticas (figura 2). Sendo que as misturas eutécticas resultam da combinação de dois ou mais compostos de natureza orgânica e/ou inorgânica. Atendendo desta forma à necessidade de temperaturas de transição mais adequadas às necessidades [Zalba, 2003].

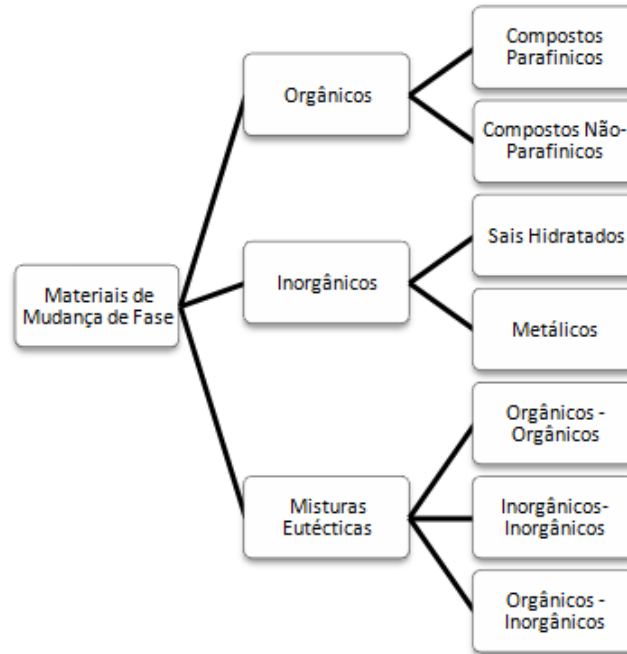


Fig 2. Classificação dos materiais de mudança de fase.

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 [Cabeza, 2011].

Segundo Khudhairi et al. [2004], Shapiro mostrou a adequação de vários PCM para a sua incorporação em placas de gesso cartonado com possível armazenamento térmico para o clima da Florida. Embora os materiais utilizados possuíssem grande capacidade de armazenamento de energia, a temperatura de transição dos mesmos não caiu dentro da faixa de conforto. Tendo desta forma este estudo mostrado a importância da adequação da temperatura de transição e também verificado a possibilidade de utilização de materiais de mudança de fase em materiais para a construção.

Do ponto de vista cinético, o PCM escolhido deve ter uma elevada velocidade de crescimento dos cristais, com o objectivo de evitar o sub-arrefecimento da fase líquida e responder às solicitações do meio envolvente [Cabeza, 2011].

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 [Cabeza, 2011].

Finalmente, sob o ponto de vista económico este deve ser abundante, disponível e com baixo custo de aquisição, de forma a tornar-se numa solução competitiva com outros sistemas construtivos tradicionais e de armazenamento térmico [Cabeza, 2011].

Para a correcta 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 portanto, duas principais formas de encapsulamento: o microencapsulamento e o macroencapsulamento [Cabeza, 2011].

O macroencapsulamento baseia-se na introdução de PCM em tubos, painéis ou outro recipiente de grandes dimensões. Sendo que, o macroencapsulamento é geralmente efectuado em recipientes com mais de 1 cm de diâmetro [Cabeza, 2011; Tyagi, 2011].

O microencapsulamento de PCM consiste na colocação de uma pequena massa molecular em pequenas partículas, revestidas por polímeros de alto desempenho. As microcápsulas podem ser esféricas ou assimétricas e com forma variável, com diâmetro inferior a 1  $\mu\text{m}$ . A vantagem deste processo de encapsulamento é a melhoria da transferência de calor, através da sua grande superfície [Cabeza, 2011; Tyagi, 2011].

O PCM utilizado nesta investigação foi o Micronal® PCM da BASF (figura 3), que consiste em microcápsulas de PCM sintetizadas pelo processo de polimerização em emulsão e constituído por uma parede em polimetilmetacrilato e um núcleo em parafina. O produto é comercializado em pó (seco) ou em emulsão, sendo que neste estudo se optou por utilizar o PCM seco de modo a facilitar a sua incorporação em argamassas prontas. Este possui uma temperatura de fusão de cerca de 23°C e uma entalpia de 110kJ/kg.



Fig 3. Micronal® PCM da BASF [BASF, 2011]

O superplastificante utilizado foi o Glenium 52 da BASF, com densidade de 1.05g/cm<sup>3</sup>. Por sua vez a areia utilizada foi cedida pela WEBER, sendo esta uma Areia S50, apresentando um tamanho de partícula médio de 439,9  $\mu\text{m}$ .

## 2.2. Composições, Fabrico e Conservação

Tendo em vista a selecção da composição final, com vista à sua aplicação futura em ensaios térmicos em células de teste, foi realizada uma campanha experimental com o objectivo de caracterizar, sob o ponto de vista mecânico, as composições produzidas.

As composições realizadas neste estudo baseiam-se no disposto na Patente PCT/PT2009/000072 [Lucas, 2009].

Nas argamassas estudadas ao longo deste trabalho fez-se variar a percentagem de PCM em 0%, 10%, 20% e 30%. Com o intuito de contornar alguns problemas relacionados com a retracção 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 4 séries distintas. A divisão das composições resulta da incorporação de diferentes materiais. Sendo que, a série 1 corresponde a argamassas apenas com incorporação de superplastificante. Por sua vez na série 2 as argamassas contêm superplastificante e fibras. A serie 3 corresponde a argamassas com incorporação de superplastificante, fibras e 10% de gesso e por último a quarta série diz respeito à variação da quantidade de gesso utilizada para uma argamassa com incorporação de 20% de PCM, fibras e superplastificante.

Em todas as composições sem incorporação de PCM, optou-se por não incorporar superplastificante devido ao seu efeito dispersor, o que provocava uma ligeira segregação na argamassa obtida.

Tabela 1: Composição das argamassas (PCM, superplastificante e fibras em % da massa total de partículas sólidas e gesso em % da massa de cal)

Série	Composições	PCM	Superplastificante	Fibras	Gesso
1	SP0PCM	0	0	-	-
	SP10PCM	10	1	-	-
	SP20PCM	20	1	-	-
	SP30PCM	30	1	-	-
2	FSP0PCM	0	0	0.1	-
	FSP10PCM	10	1	0.1	-
	FSP20PCM	20	1	0.1	-
	FSP30PCM	30	1	0.1	-
3	GFSP0PCM	0	0	0.1	10
	GFSP10PCM	10	1	0.1	10
	GFSP20PCM	20	1	0.1	10
	GFSP30PCM	30	1	0.1	10
4	GFSP20PCM20G	20	1	0.1	20
	GFSP20PCM30G	20	1	0.1	30
	GFSP20PCM40G	20	1	0.1	40

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

Para avaliar o comportamento e as propriedades mecânicas (resistência à compressão e flexão) das diferentes composições, foram moldados 3 provetes prismáticos com 40x40x160 mm<sup>3</sup>.

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.

### 3. PROCEDIMENTOS DE ENSAIO

Os ensaios de trabalhabilidade foram realizados com o objectivo de conferir uma trabalhabilidade adequada ao manuseio das argamassas desenvolvidas. Os ensaios foram

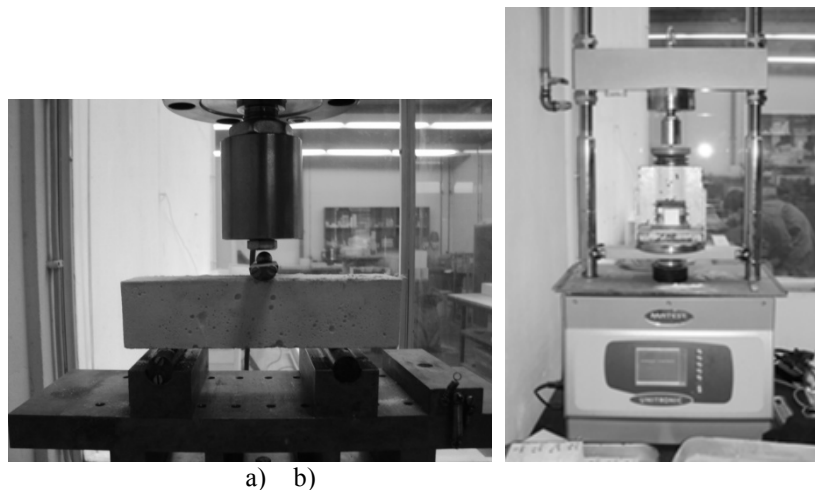
realizados com base no método da mesa de espalhamento, especificado pela norma europeia EN 1015-3 (figura 4). O valor resultante do ensaio apenas foi considerado, quando compreendido entre 160-180 mm.

O comportamento em flexão foi avaliado com base na EN 1015-11 (figura 5a)). Os provetes utilizados para o ensaio de flexão foram prismáticos com dimensões de  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ . Os ensaios foram realizados com controlo de força, a uma velocidade de 10N/s.

O comportamento em compressão foi avaliado com base na EN 1015-11 (figura 5b)). A aplicação da carga no provete foi efectuada 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.



Fig 4. Mesa de espalhamento



a) b)

Fig 5. Comportamento em Flexão e Compressão

Foram também realizados ensaios de sensibilidade para averiguar a retracção e conseqüente fissuração de cada composição estudada. Para tal foi utilizado um sistema multicamada aolocado sobre tijolos. Efectuou-se o reboco com uma camada de regularização sem incorporação de PCM, com cerca de 1.5cm de espessura e uma camada de acabamento com espessura de 0.5cm e com incorporação das diferentes percentagens de microcápsulas de PCM.

#### 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Os ensaios de sensibilidade realizados com o objectivo de aferir a fissuração provocada pela incorporação de PCM, permitiram verificar que as argamassas sem incorporação de PCM não possuíam qualquer tipo de fissuração. No entanto, para as argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase verificaram-se grandes problemas relacionados com a fissuração, uma vez que esta era bastante significativa, tal como se pode ver na figura 6.

Com o objectivo de solucionar este problema foram adicionadas fibras às argamassas, tendo-se verificado uma ligeira diminuição da fissuração. No entanto, o problema não foi totalmente resolvido pelo que se realizou uma nova série de ensaios incorporando 10% de gesso. Estes ensaios permitiram verificar que a adição de gesso era suficiente para solucionar os problemas relacionados com a fissuração nas argamassas com incorporação de 10% de PCM. Portanto, foi realizada uma última campanha de ensaios com incorporação de maiores quantidades de gesso, sendo estas 20%, 30% e 40%. Para uma incorporação de 40% de gesso foi possível obter composições com incorporação de 20% de PCM sem qualquer problema relacionado com a fissuração.

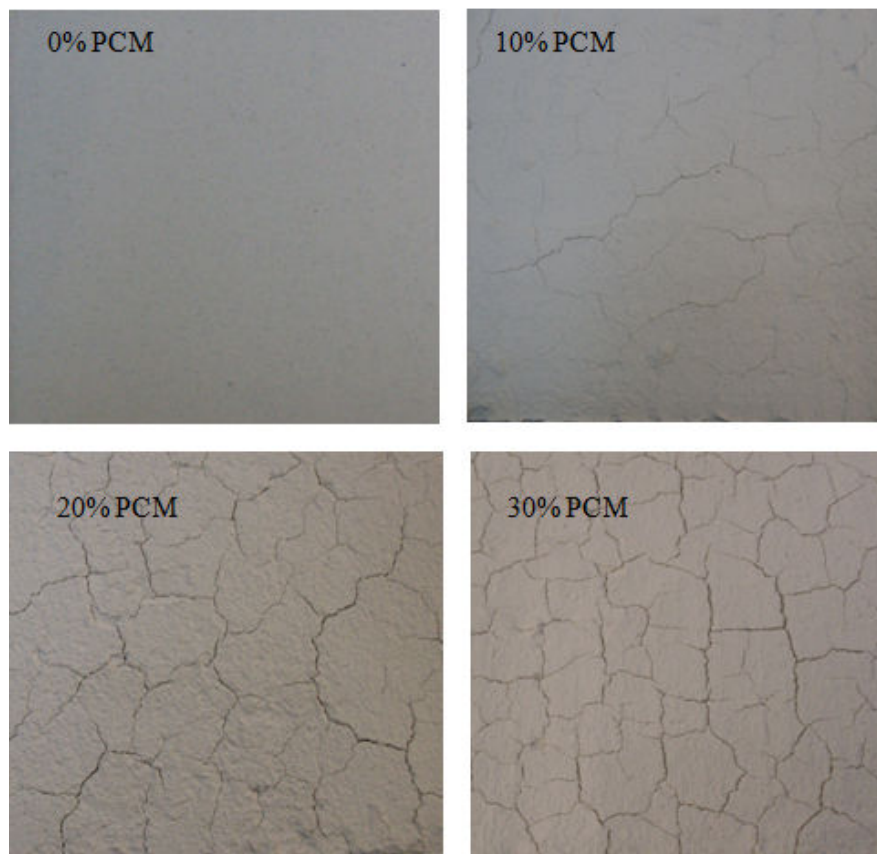


Fig 6. Fissuração observada na série 1.

Na tabela 2 apresentam-se os resultados obtidos para os ensaios de trabalhabilidade e das propriedades mecânicas, provenientes dos resultados experimentais, nomeadamente a resistência à compressão e a resistência à flexão.

A figura 7a), apresentam-se os resultados dos ensaios de determinação da trabalhabilidade para a série 1, 2 e 3, para as composições com 10%, 20% e 30% de PCM. Nas quais é possível verificar um aumento na quantidade de água a adicionar à mistura, com o aumento da incorporação de microcápsulas de PCM. A um aumento de 10% de PCM correspondeu um aumento na quantidade de água de cerca de 52%. Esta situação pode ser explicada pela finura



característica do PCM utilizado e pela absorção da parede polimérica que reveste o material de mudança de fase.

A incorporação de fibras não provocou qualquer alteração na quantidade de água a adicionar na argamassa, no entanto diminui ligeiramente o diâmetro de espalhamento obtido.

A incorporação de 10% de gesso (série 3) provocou um ligeiro aumento na quantidade de água. Sendo que para uma mesma argamassa (série 4) um aumento de 20% de gesso, originou um aumento de cerca de 3% na quantidade de água adicionada à argamassa, tal como pode ser observado na figura 7b).

As composições sem incorporação de PCM, apresentam sempre uma maior percentagem de água, tal pode ser justificado pela ausência de superplastificante, uma vez que este possui funções de redutor de água.

Tabela 2: Resistências mecânicas das argamassas aos 28 dias

Série	Composições	% Água	Resistência à flexão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
1	SP0PCM	23	0.17 [10.98]	0.25 [8.09]
	SP10PCM	18.5	0.67 [12.26]	1.54 [8.92]
	SP20PCM	29	0.93 [11.22]	2.22 [6.09]
	SP30PCM	45	0.81 [5.19]	2.47 [3.24]
2	FSP0PCM	23	0.16 [13.68]	0.40 [14.82]
	FSP10PCM	18.5	0.86 [13.44]	1.74 [8.03]
	FSP20PCM	30	0.72 [10.57]	1.79 [5.99]
	FSP30PCM	45	0.82 [15.75]	2.22 [2.84]
3	GFSP0PCM	23,5	0.15 [4.0]	0.25 [4.0]
	GFSP10PCM	19.2	0.72 [2.90]	1.77 [5.33]
	GFSP20PCM	31	0.93 [5.80]	2.03 [4.27]
	GFSP30PCM	47	0.62 [6.98]	1.74 [7.54]
4	GFSP20PCM20G	31	1.36 [4.52]	2.27 [10.6]
	GFSP20PCM30G	32	0.73 [12.53]	1.78 [5.7]
	GFSP20PCM40G	32	1.01 [12.72]	2.00 [11.7]

*Nota: Entre parêntesis apresentam-se os coeficientes de variação em percentagem.*

Relativamente à massa volúmica das diferentes composições para as diferentes séries testadas, foi possível observar uma diminuição das mesmas com o aumento da percentagem de PCM (figura 8a)), sendo que tal pode ser justificado pelo baixo peso do material incorporado. Contrariamente à incorporação de microcápsulas de PCM, a introdução de uma maior quantidade de gesso origina um ligeiro aumento na massa volúmica da argamassa (figura 8b)). A incorporação de fibras e 10% de gesso, não altera os resultados obtidos mantendo-se a mesma tendência, portanto verifica-se apenas uma influência relativa à quantidade de PCM incorporada.

No que diz respeito às resistências mecânicas, em termos gerais, com base nos resultados obtidos, apresentados na Tabela 2 e nas figuras 9 a 13 é possível constatar que as características mecânicas apresentam uma melhoria com a incorporação de microcápsulas de PCM. Contudo para a resistência à flexão verifica-se uma diminuição do seu valor para 30% de PCM, comparativamente à composição com incorporação de 20% de PCM. O que nos leva a concluir que no que diz respeito à resistência à flexão a percentagem óptima de PCM a adicionar na argamassa é de 20%. Na resistência à compressão é possível observar um aumento no seu valor com a incorporação de uma maior percentagem de PCM. A incorporação de 10% de PCM leva a um aumento do valor da resistência à flexão superior a 300%. Na resistência à compressão o aumento verificado é de cerca de 330%. Estes valores foram obtidos através da comparação entre o valor obtido para as composições com 10% de PCM relativamente às composições sem incorporação do material de mudança de fase, para a série 1, 2 e 3.

A incorporação de percentagens de gesso na mistura superiores a 20%, proporcionam uma diminuição das suas resistências mecânicas, tal como se pode observar na figura 12.

A figura 13 apresenta o resumo das características mecânicas, na qual é possível verificar que percentagens de PCM iguais ou inferiores a 20% não apresentam diferenças significativas para as series testadas. No entanto, a incorporação de percentagens superiores a 20% de PCM provocam uma diminuição da resistência à flexão em todas as composições testadas. A resistência à compressão mantém-se sensivelmente constante para a série 1 e 2, verificando uma ligeira diminuição do seu valor para a série 3.

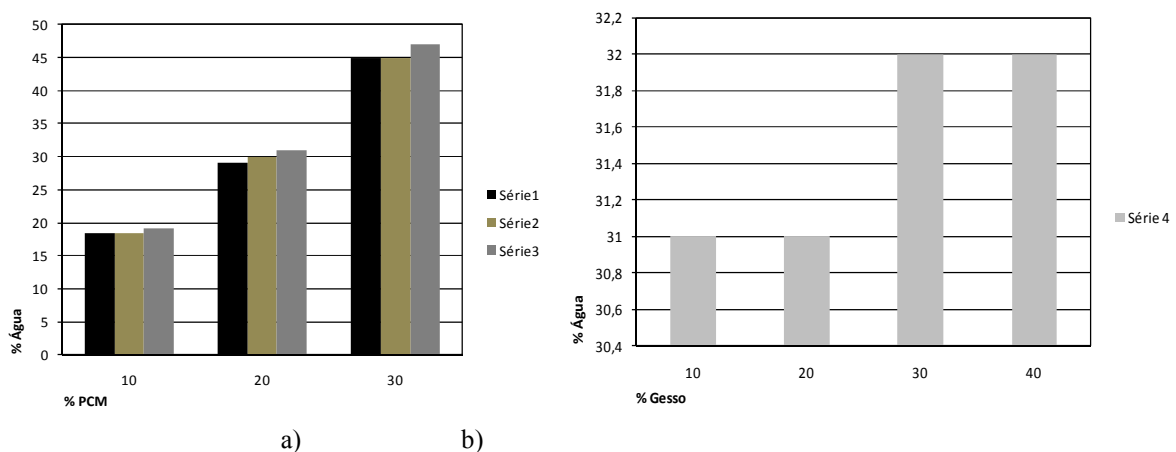
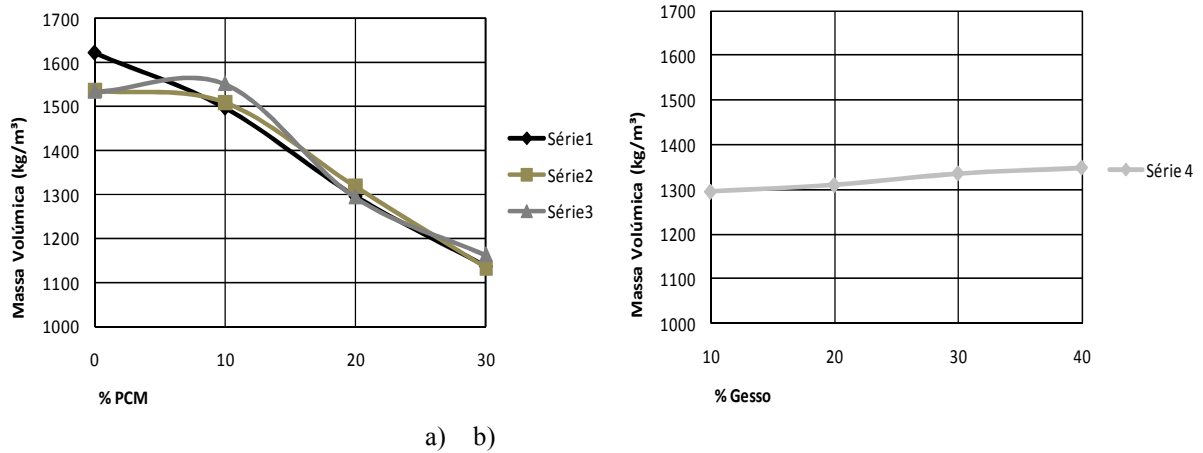
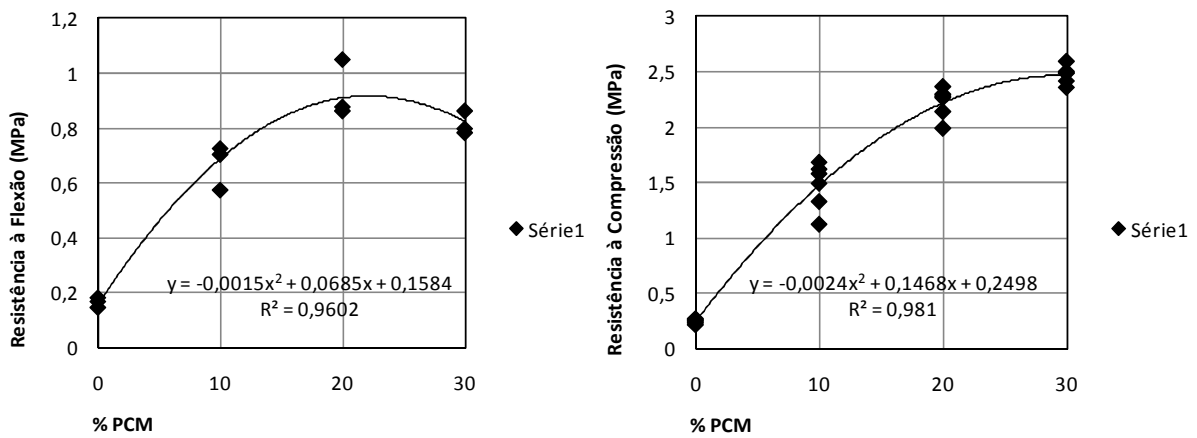


Fig 7. Variação da % de água com a composição das argamassas (trabalhabilidade constante).



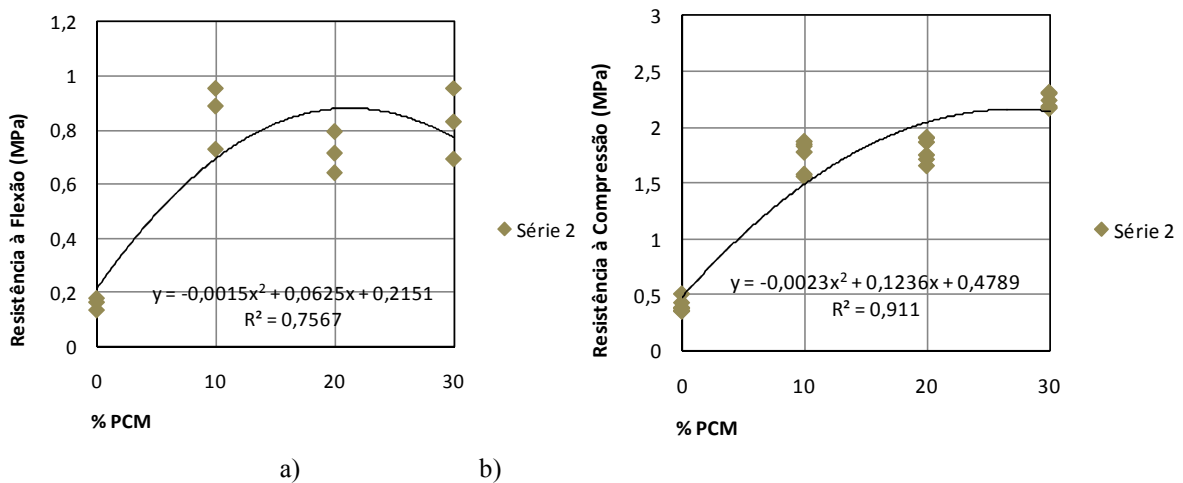
a) b)

Fig 8. Variação da massa volúmica das argamassas com a sua composição.



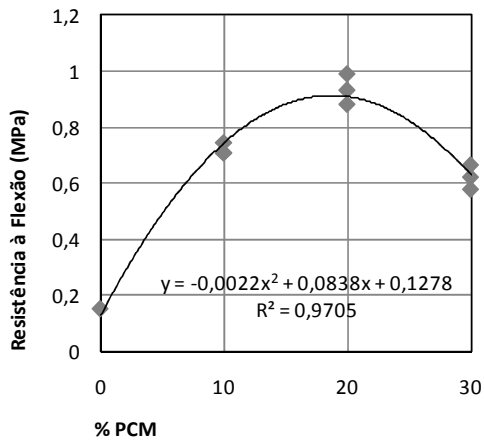
a) b)

Fig 9. Variação das resistências mecânicas com a % PCM (série 1).

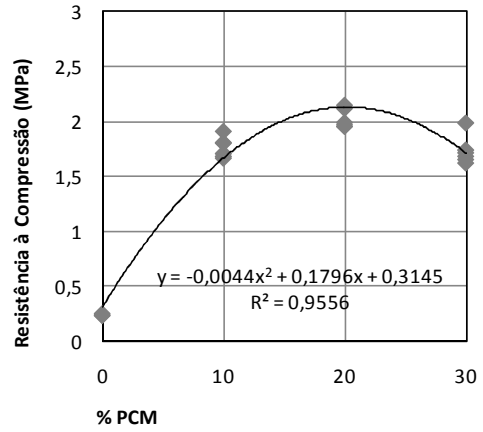


a) b)

Fig 10. Variação das resistências mecânicas com a % PCM (série 2).



◆ Série 3

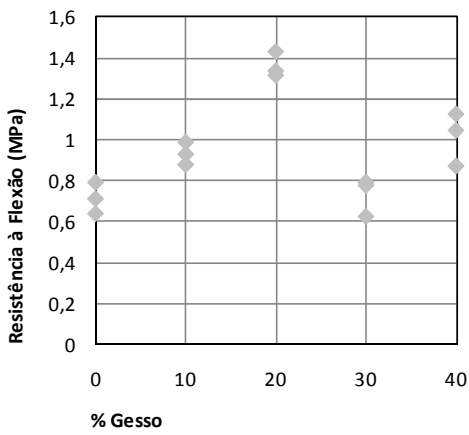


◆ Série 3

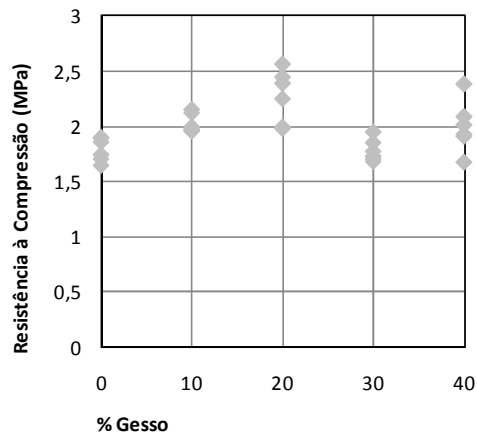
a)

b)

Fig 11. Variação das resistências mecânicas com a % PCM (série 3).



◆ Série 4

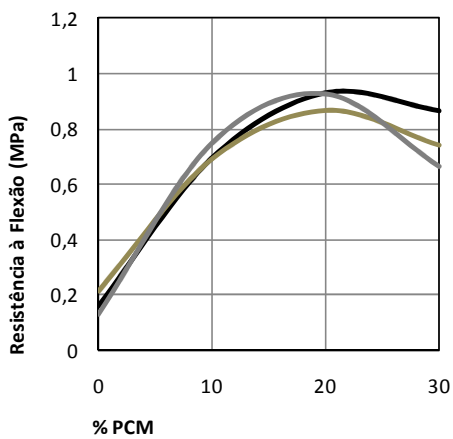


◆ Série 4

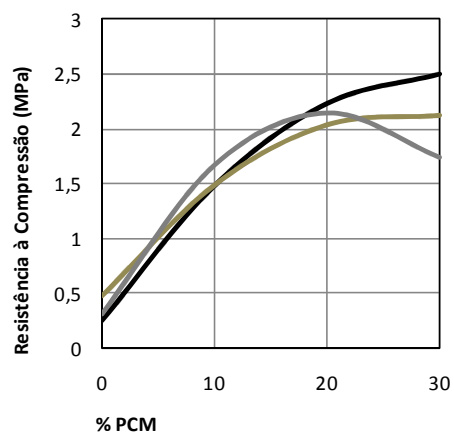
a)

b)

Fig 12. Variação das resistências mecânicas com a % PCM (série 4).



— Série 1  
— Série 2  
— Série 3



— Série 1  
— Série 2  
— Série 3

a)

b)

Fig 13. Variação das resistências mecânicas das argamassas com a sua composição.

## 5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode concluir-se que a utilização de microcápsulas de PCM em argamassas à base de cal 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.

Os resultados obtidos nos ensaios de sensibilidade permitiram concluir que a utilização conjunta de fibras e gesso constitui uma boa solução para problemas relacionados com a fissuração provocada pela incorporação de PCM.

Foi ainda possível verificar que existe um aumento claro da quantidade de água a incorporar na argamassa com o aumento da percentagem de PCM, isto com o objectivo de obter uma trabalhabilidade adequada. A resistência à compressão e flexão medida em cada ensaio efectuado, permite observar uma tendência para o seu aumento, com uma maior incorporação de microcápsulas de PCM.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar os seus agradecimentos à Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento deste trabalho de investigação desenvolvido no âmbito do projecto “Estudo de argamassas funcionais para uma construção sustentável” (PTDC/ECM/72104/2006) e do projecto “ Contribuição de Argamassas Térmicas Activas para a Eficiência Energética dos Edifícios” (PTDC/ECM/102154/2008).

## REFERÊNCIAS

BASF. Micronal® PCM. Consultado em 31 de Março de 2011, em [http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF\\_Micronal\\_PCM\\_Brochure%202009\\_English.pdf](http://www.micronal.de/portal/load/fid443847/BASF_Micronal_PCM_Brochure%202009_English.pdf).

Cabeza L., et al, Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (2011) 1675-1695.

Castell A. et al., Experimental study of using PCM in brick constructive solutions for passive cooling, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 534–540.

Darkwa K. et al., Phase-change drywalls in a passive-solar building, *Applied Energy*, 83, (2006) 425–435.

European Committee for Standardization (CEN), EN 1015-11 (1999), Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar.

European Committee for Standardization (CEN), EN 1015-3 (2004), Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table).

Khudhairi A., et al., A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials, *Energy Conversion and Management*, 45 (2004) 263–275.

Lai C. et al., Heat transfer and thermal storage behaviour of gypsum boards incorporating micro-encapsulated PCM, *Energy and Buildings*, 42 (2010) 1259–1266.

Lucas S., Aguiar J.L., Ferreira V.M., Argamassas funcionais para uma construção sustentável, *Actas do Congresso de Inovação na Construção Sustentável*, Ed. Ferreira V.M. et al., (2010) 483-488.

Lucas S., Ferreira V. M., Aguiar J. L., e Labrincha J. A., Mortars Containing Phase Change Material Microcapsules, their Preparation Process and Use, Patente PCT/PT2009/000072, Portugal, 2009.

Microteklabs. Encapsulated PCMs: How They Work. Consultado em 1 de Março de 2011, em <http://www.microteklabs.com/how-they-work.html>.

Monteiro J. et al., Argamassas com Desempenho Térmico Melhorado, 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, (2005).

Silva N. et al., Properties of Gypsum-PCM Based Mortars for Interior Plastering of Construction Systems, Materials Science Forum, 587-588 (2008) 913-917.

Tyagi V., et al, Development of phase change materials based microencapsulated technology for buildings: A review”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2011) 1373-1391.

Zalba B., et al., Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, Applied Thermal Engineering, 23 (2003) 251–283.

Zhang Y. et al., Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook, Building and Environment, 42 (2007) 2197–2209.