

## Argamassas com Desempenho Térmico Melhorado

José M. Monteiro  
JAS  
Portugal  
[joseiro@megamail.pt](mailto:joseiro@megamail.pt)

José B. Aguiar  
U M  
Portugal  
[aguiar@civil.uminho.pt](mailto:aguiar@civil.uminho.pt)

Luís M. Bragança  
U M  
Portugal

Jaime R. Gomes  
U M  
Portugal

Pedro Santos  
Micrópolis  
Portugal

**Resumo:** No contexto da investigação de novas tecnologias no domínio da conservação de energia surgem os “Phase Change Materials” (PCM) cuja principal característica é a mudança de fase (fase líquida para fase sólida e vice-versa) próximo à temperatura ambiente. O objecto desta comunicação é a divulgação de uma nova tecnologia, no domínio da técnica de aplicação de argamassas, que poderá ser utilizada na construção dos espaços interiores das construções. Os resultados dos ensaios efectuados mostraram que a incorporação de 25 % de PCM em peso, mantém as propriedades mecânicas das argamassas em níveis aceitáveis e é benéfica do ponto de vista térmico.

**Palavras-chave:** Argamassas; Phase Change Materials (PCM); Microcápsulas; Conforto Térmico; Camada de Acabamento.

### 1. INTRODUÇÃO

O Protocolo de Quioto impõe um tecto nas emissões para a atmosfera de CO<sub>2</sub> e outros gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa (GEE) e que contribuem para o aquecimento global. Cada Estado signatário do Protocolo obrigou-se a tomar as medidas necessárias para limitar a produção de GEE no seu território. Para isso, impõe-se a criação de mecanismos de actuação e a definição de políticas de curto e médio prazo que reduzam as emissões daqueles gases, de tal modo que os níveis de emissão no período de cumprimento 2008-2012 sejam os de 1990. Este grande objectivo é portanto um compromisso nacional que tem de envolver toda a sociedade, sob a liderança da Administração, a quem compete coordenar todas as acções que levem ao resultado desejado.

Sendo os edifícios, tanto os residenciais como os de serviços, responsáveis por mais de 20% do consumo de energia final em Portugal, coloca-se o problema de aumentar a eficiência energética nos edifícios. Este problema não se coloca apenas a Portugal, mas também à União Europeia, em cujo conjunto os Edifícios representam cerca de 40% dos consumos globais de energia. Sendo este um objectivo dos mais importantes para o futuro imediato, a União Europeia preparou uma proposta de *Directiva para a Eficiência*

*Energética dos Edifícios*, já aprovada em Dezembro de 2001 pelo Conselho nas suas linhas gerais, e também pelo Parlamento Europeu no início de Fevereiro 2002.

O emprego de um novo material de construção tendo em vista aumentar a eficiência energética dos edifícios é o objecto do estudo a seguir apresentado e pode contribuir para melhorar a eficiência energética dos edifícios. Este novo material designa-se genericamente por “Phase Change Materials” (PCM), foi já testado e aplicado com excelentes resultados em diversas áreas, nomeadamente, no vestuário, na indústria farmacêutica e na indústria automóvel. Este estudo procurará divulgar aspectos relacionados com a viabilidade da sua aplicação na área da construção civil, segundo uma determinada tecnologia de aplicação extremamente simples por se encontrar disponível desde há muito tempo numa técnica característica de construção no nosso país.

## **2. PARÂMETROS DO CONFORTO TÉRMICO**

A noção de conforto da habitação não está, nem pode ser objectivamente definida e fixada. Resultando de sensações humanas é, como tal, aferida por padrões pessoais e inevitavelmente subjectivos; além disso depende de hábitos de vida e de condições sociais que a particularizam a grupos, a regiões ou a países.

Naturalmente que há um conteúdo básico na noção de conforto que, pelo menos, lhe pode marcar um limite inferior: trata-se das condições fisiológicas ligadas bem claramente ao conforto térmico e higrométrico e já menos esclarecidas no que respeita a outras influências: de níveis acústicos, da radiação solar – luminosas, energéticas e biológicas – da pureza do ar, do campo eléctrico e da ionização da atmosfera, por exemplo. Mas mesmo estas condições limites divergem muito com o quadro do clima e com a capacidade de adaptação do homem ao meio em que confina a sua vida; ainda que descontando exigências de diferentes tradições de civilização é evidente que os limites de conforto, por exemplo, nos países nórdicos quase nada têm em comum com os que convirão para as regiões equatoriais a não ser na exigência extrema, válida para ambos os casos de deverem possibilitar a preservação e a facilidade da vida humana.

O conforto térmico depende de variados factores entre os quais podemos citar a temperatura do ar interior ou temperatura do bolbo seco, a temperatura média radiante, a velocidade do ar, a humidade, a actividade e vestuário dos ocupantes.

A avaliação do conforto térmico deve, em princípio, tomar em conta todos aqueles parâmetros, mas no actual regulamento, designado por Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (R.C.C.T.E.) [1], apenas intervém o parâmetro “temperatura do ar interior”. Ao calcular o valor nominal das necessidades de aquecimento adopta-se 18°C como temperatura convencional e constante, sendo previstos os 20°C no próximo regulamento a entrar em vigor e, para as necessidades de arrefecimento adopta-se no R.C.C.T.E. a temperatura de 25°C. Por exemplo, se o objectivo for o de manter 20°C de temperatura no interior do edifício, no inverno, a temperatura deverá flutuar livremente durante o dia com eventuais apoios de energia auxiliar em períodos mais frios.

Um objectivo do actual Regulamento de Características do Comportamento Térmico dos Edifícios é contribuir para que o projectista conceba o edifício de forma que não se verifique, no Inverno, nos dias mais rigorosos, o abaixamento das temperaturas aquém dos 18°C. Trata-se de melhorar as condições ambientais e garantir que as exigências de conforto térmico no interior possam vir a ser asseguradas sem dispêndio excessivo de energia. O que é estabelecido para o aquecimento no Inverno é simetricamente válido para o Verão, de forma que a temperatura interior não exceda os 25°C.

### 3. MATERIAIS ACTIVOS

Embora todos os materiais interajam com o ambiente, não têm a capacidade de alterar as suas características. Nos nossos dias investiga-se a utilização na construção civil de materiais que podem modificar a temperatura do ambiente que os rodeia, através de interacção com o meio: são materiais activos que actuam quando o meio ambiente se altera. Este estudo vai incidir sobre os “Phase Change Materials”, (PCM), que se utilizam dentro de microcápsulas. As microcápsulas são definidas como partículas esféricas cujo tamanho está compreendido entre os 0,020  $\mu\text{m}$  e os 2000  $\mu\text{m}$ , compostos de um coração constituído por uma substância activa, coberto por uma casca protectora dura de material polimérico. Pode afirmar-se que são microcontentores ou microembalagens em que a parede de protecção é usualmente um polímero orgânico, embora possa ser um polímero inorgânico ou mesmo um metal, que protege um ingrediente activo ou coração [2] (figura 1).



Figura 1 : Estrutura de uma microcápsula.

Este pode ser programado para libertar calor na fase de procura, instantaneamente ou durante um período de tempo que pode durar desde alguns minutos até vários meses. A substância activa é usualmente sólida ou líquida mas também pode ser um gás, podendo-se apresentar sob a forma de um núcleo central envolto na parede polimérica, ou mesmo finamente dispersa no interior da matriz polimérica, ou adoptar configurações intermédias entre estas. São amplamente utilizados nas ciências vivas, químicas, biotecnologia, medicina e indústrias afins.

Os PCM são utilizados no armazenamento térmico, geralmente hidrocarbonetos alifáticos saturados de cadeia linear, nomeadamente alcanos, que possuem a propriedade de passar do estado sólido para o líquido numa determinada faixa de temperaturas [3] . Como exemplo temos as ceras e parafinas que são materiais orgânicos obtidos por refinação do crude ou produzidos sinteticamente. A sua fórmula geral é  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  (figura 2).

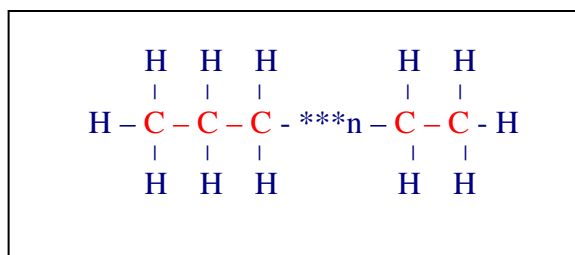


Figura 2 : Estrutura de uma parafina normal.

Para utilização nas aplicações de armazenamento térmico é usado um grupo restrito de parafinas normais, que através do aumento da cadeia do átomo de carbono permite obter mais elevadas temperaturas de fusão. Na figura 3 mostra-se a evolução das temperaturas de fusão com o aumento dos átomos de carbono.

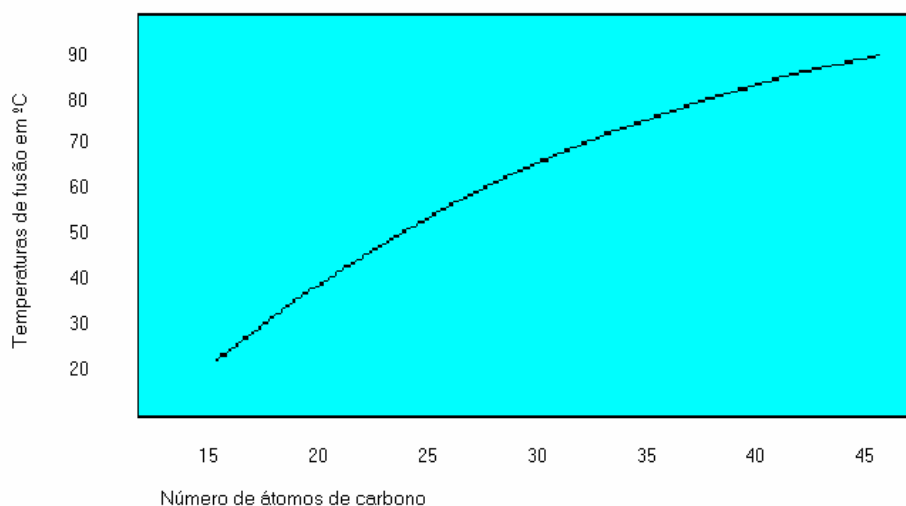


Figura 3 : Variação da temperatura de fusão das parafinas.

Quando o PCM é aquecido absorve energia térmica e passa do estado sólido ao estado líquido ao ultrapassar a sua temperatura de fusão. Esta energia é temporariamente armazenada, sendo libertada gradualmente durante o arrefecimento até que seja atingida a temperatura de cristalização do PCM.

Um PCM ideal deverá preencher um certo número de premissas, tais como, um alto calor de fusão, alta capacidade de aquecimento, alta condutibilidade térmica, pequena mudança de volume em fase de transição, não ser corrosivo, não ser tóxico, não inflamável e apresentar pequena ou nenhuma decomposição.

O armazenamento de energia térmica é necessário ao uso da energia que, por fenómenos técnicos e naturais, proporciona quantidades significativas de excesso de frio ou de calor. A situação ideal é a libertação da energia armazenada a uma temperatura praticamente constante independentemente da quantidade armazenada. Quando um PCM muda de fase, por exemplo, de sólido para líquido, é armazenada uma quantidade de energia, mantendo o material praticamente a mesma temperatura. Esta energia térmica é conhecida por calor latente, será libertada novamente quando o material solidificar. O calor latente aumenta o calor sensível do material (figura 4).

Para demonstrar a quantidade de armazenamento de calor devida ao calor latente directo, escolhemos a água como exemplo. Precisamos de aquecer água desde os 0°C até 80°C para armazenar 336 kJ num kg de água. Aproximadamente a mesma quantidade de energia, 333 kJ, é armazenada durante a fusão de 1 kg de gelo sendo esta mudança de fase efectuada à temperatura constante de 0°C. Isto deve-se à elevada capacidade calorífica da água e ao calor de fusão devido aos efeitos das ligações dos átomos de hidrogénio da água. Há no entanto substâncias orgânicas e inorgânicas que apresentam calor de fusão semelhante ao da água [4].

A figura 4 mostra o armazenamento de energia que se verifica na passagem do estado sólido ao estado líquido, com o correspondente aumento de temperatura.

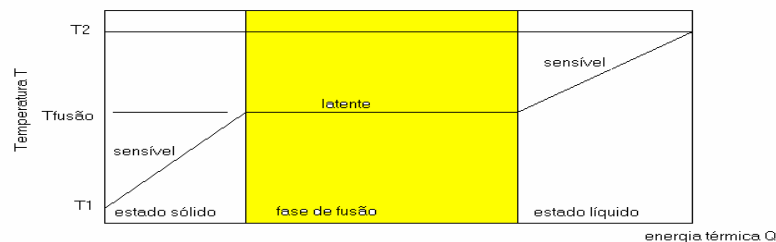


Figura 4: Variação da temperatura durante a mudança de fase.

O maior feito das aplicações dos PCM é a capacidade de armazenar ou libertar energia em fase de transição e é notável o facto de a temperatura se manter praticamente constante durante este processo, com a faculdade desta mudança de fase se poder efectuar à temperatura ambiente. Podem ser usados para manter a comida e a bebida quentes ou frias, dependendo da temperatura de mudança de fase escolhida. Também pode aumentar o conforto das pessoas quando incorporados nas suas roupas ou nas suas casas. Pense-se no sol que brilha através das janelas das habitações. Ele vai aquecer o quarto onde se está, sendo no inverno um calor adicional bem-vindo, do qual se pode livrar se abrir a janela em caso de muito calor, o que já não sucede no verão e neste caso a única forma de se livrar do excesso de calor sem recorrer ao ar condicionado é o armazenamento deste excesso de calor nos materiais da própria construção. A capacidade de armazenamento é limitada, cerca de um kj por kg de materiais de construção correntes, pelo que o conforto da habitação depende da sua massa térmica que é muito próxima da massa do edifício e que suaviza os picos de temperatura durante horas até vários dias.

As capacidades de calor específico de alguns materiais são: madeira, 1,3kj/(kg°C), betão, 0,92 kj/(kg°C), tijolo, 0,84 kj/(kg°C). A forma de aumentar a capacidade de armazenamento de calor é a integração dos PCM nos materiais que constituem o edifício. Esta é uma solução efectiva dado que a faixa de conforto é bastante limitada, digamos, entre 20°C a 24°C. Quando escolhemos um PCM com calor de fusão de por exemplo  $\Delta H = 200$  kj/kg com um ponto de fusão de 22°C, introduzindo hipoteticamente 30% deste PCM no betão, produzimos entre os 20°C e os 24°C, 30% de 200kj = 60kj + 4 vezes 0,92 kj = 63,7 kj/kg para o betão modificado em vez dos 3,7 kj/kg de capacidade de armazenamento para o betão sozinho, isto é, quase vinte vezes mais. As modernas estratégias de arrefecimento passivo dos edifícios, por exemplo com ventilação de ar fresco durante a noite ou através de trocas de calor conseguidas sob o terreno, só são possíveis recorrendo à massa térmica dos edifícios. Empregues como descrito anteriormente, os PCM melhoram a massa térmica dos edifícios numa determinada faixa de temperatura, com a necessidade de emprego de apenas pequenas quantidades em massa. São usados optimamente para manter uma certa temperatura constante enquanto é necessária, por exemplo, em edifícios em climas moderados com mudanças no clima exterior do dia para a noite e nas mudanças de estação. Os custos com a manutenção de uma temperatura constante podem ser reduzidos com o

emprego dos PCM, devido à sua capacidade de armazenamento térmico. A figura 5 mostra a capacidade de armazenamento de calor, em  $\text{kWh/m}^3$ , de alguns materiais.

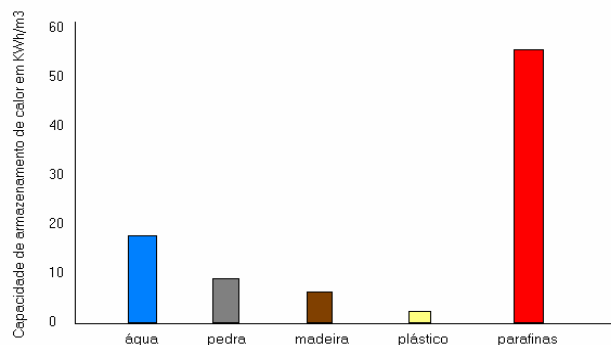


Figura 5 : Capacidade de armazenamento de energia de alguns materiais.

#### 4. EXPERIÊNCIAS MECÂNICAS

Para se conhecer o comportamento das massas de acabamento com a inclusão de PCM, estabeleceu-se uma previsão de mistura de diversos teores deste material, com a massa de acabamento à base de gesso. Ficou decidido efectuar ensaios com percentagens de incorporação de PCM na massa de acabamento, de 0%, 10%, 20% e 30% em peso, para possibilitar a sua comparação em termos de aplicação e comportamento. Para a mistura de 10% de PCM e percentagens superiores torna-se necessário realizar ensaios de espalhamento para determinar a quantidade de água a incorporar na mistura.

Construíram-se, no laboratório de ensaio de materiais, quatro paredes de pequena dimensão para se poder analisar a fendilhação dos rebocos executados, pois se esta existisse poderia desde logo haver limites ao desenvolvimento deste trabalho. Estas paredes permitiram analisar a viabilidade de aplicação de cada uma das misturas dos novos materiais, se são fáceis ou difíceis de aplicar, se é possível ou se tornam impossível a aplicação devido às novas características físicas que adquirem face à mistura das massas de acabamento com PCM. Ultrapassada esta etapa houve que determinar a quantidade de água a incorporar em cada uma das misturas com diferentes percentagens de PCM, através da realização do ensaio de espalhamento.

Em seguida, aplicou-se a primeira camada de reboco, destinada a aprumar e alisar as quatro paredes, constituída por PROJECT OBR (designação comercial) sobre a qual se espalhou a camada de acabamento sem PCM na primeira parede, com incorporação de 10% de PCM na segunda, com incorporação de 20% de PCM na terceira e com com incorporação de 30% de PCM na quarta parede.

A construção de doze provetes para realização de ensaios de flexão foi a fase seguinte, correspondendo a cada mistura três provetes contendo 0%, 10%, 20% e 30% de PCM, percentagens previstas desde o início. A rotura à flexão originou metades de provetes que serviram para se efectuar os ensaios de compressão, de forma que os três provetes ensaiados à flexão, para cada percentagem de incorporação, deram origem a seis provetes para ensaiar à compressão.

Enquanto estes provetes ganhavam resistência, pois só eram ensaiados após 28 dias, realizaram-se os ensaios de arrancamento, destinados a provar a aderência entre as duas camadas de reboco e observou-se a superfície das paredes. Após os 28 dias da moldagem dos provetes, fez-se a sua rotura à flexão e depois à compressão.

Após a realização destes ensaios escolheu-se a mistura da massa de acabamento com PCM, que nos apresente mais garantias de resultados positivos. Foi esta a composição testada na célula de teste. Nesta célula, uma câmara constituída por um compartimento com área de  $4,30 \times 3,0 \text{ m}^2$ , foi construída uma parede idêntica à utilizada nos ensaios, em alvenaria de tijolo de  $0,30 \times 0,20 \times 0,11 \text{ m}$ . Esta parede foi construída a meio da câmara de forma a dividi-la em duas partes exactamente iguais, sujeitas às mesmas condições de exposição solar, de temperatura e de humidade. A primeira camada de reboco foi executada em ambas as faces da parede pelo mesmo material – PROJET OBR da Sival. Uma das faces desta parede foi acabada com massa de acabamento com 0% de PCM, conforme se faz na prática da construção civil; a outra face desta parede será acabada com massa de acabamento contendo a percentagem de PCM decidido aplicar após as fases anteriores dos ensaios. Será possível registar as temperaturas em ambos os espaços para determinar se essa incorporação de PCM tem alguma influência nas temperaturas interiores registadas.

Apresentam-se nas figuras 6 e 7 os resultados dos ensaios de flexão e compressão. Os resultados dos ensaios efectuados mostram que a incorporação de PCM provoca uma diminuição das resistências à flexão e à compressão. Segundo a norma EN 998-1 [5], relativa a argamassas de reboco e estuque para propósitos gerais, o valor mínimo da tensão de compressão é 0,4 MPa. O projecto de norma prEN 13279-1 [6] (ainda não existe norma aprovada), relativo a argamassas de gesso, em que se inserem os materiais com que trabalhamos, para o gesso estuque, preconiza os valores mínimos, à flexão e à compressão, respectivamente, 1,0 MPa e 2,0 MPa. Nesta prEN 13279-1 [6], o gesso estuque para aplicações especiais em que se inclui o gesso com propriedades de isolamento térmico e onde se poderá incluir o gesso com PCM, não limita a compressão mínima, mas indica que o valor mínimo de tensão à flexão é 0,5 MPa.

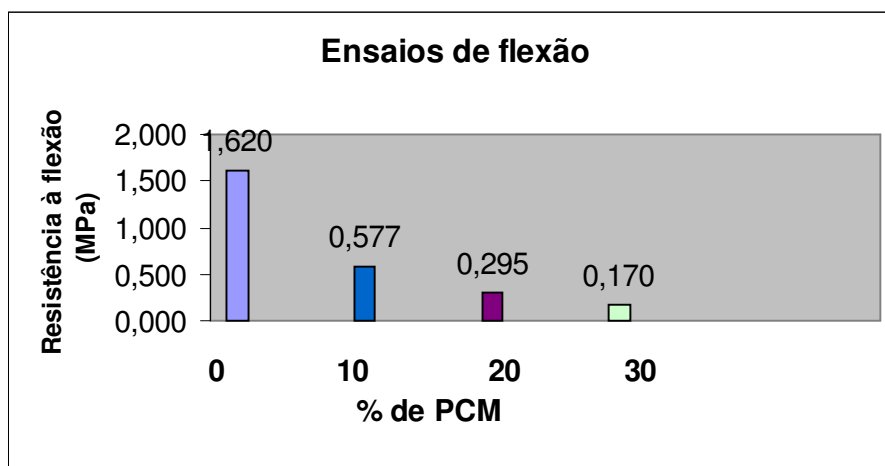


Figura 6 : Variação da resistência à flexão com a % de PCM.

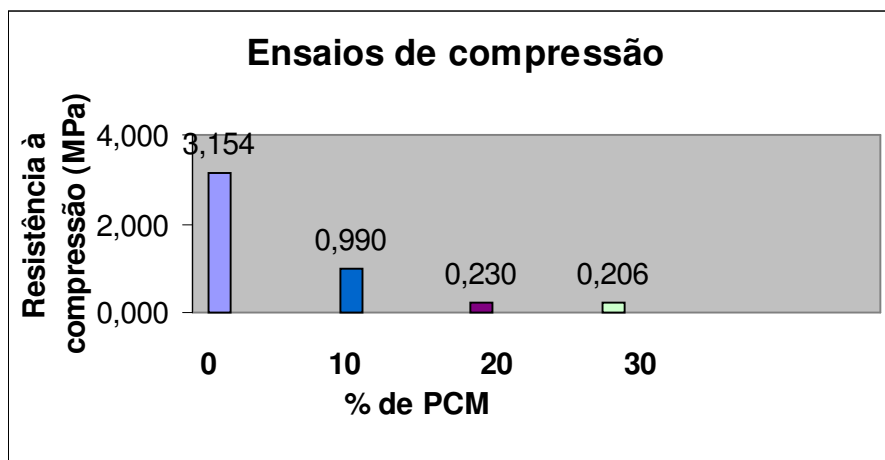


Figura 7 : Variação da resistência à compressão com a % de PCM.

Tal diminuição não afectará de forma significativa a resistência global da camada de reboco. Com efeito, como a incorporação de PCM é feita na camada de acabamento e esta camada tem espessura de cerca de 10 vezes menos que a da camada de base cuja resistência se mantém intacta, a resistência final será apenas ligeiramente inferior à resistência da camada de reboco sem PCM. Fazendo uma média ponderada da resistência final de uma camada de reboco, sistema multicamada, com 1cm de camada de base e 1mm de camada de acabamento (figura 8), teremos a seguinte resistência, para 30% de incorporação de PCM:  $(1,62*1+0,17*0,1)/1,1=1,49$  MPa, à flexão;  $(3,15*1+0,206*0,1)/1,1=2,88$  MPa, à compressão, valores superiores aos preconizados nas normas referidas.

Então, na nossa óptica serão dois os factores que condicionarão a utilização dos PCM em massas de acabamento à base de gesso: o primeiro factor prende-se com a realização física do acabamento porque acima de determinados valores de incorporação de PCM não é possível conferir um acabamento perfeito à superfície do reboco; o segundo será a quantidade de PCM que optimizará os ganhos térmicos em função do seu custo, pois haverá uma quantidade de PCM acima da qual não será viável economicamente a sua aplicação.

## 5. EXPERIÊNCIAS TÉRMICAS

Utilizou-se uma célula térmica com as dimensões de 4,2 m de comprimento, 2,5 m de largura e 3,0 m de altura. Foi construída uma parede que dividiu a célula em duas partes iguais de 4,2 m de comprimento e 1,25 m de largura, com a mesma exposição solar, pois a parede dividiu o envidraçado que a limita a sul, exactamente a meio.

Depois de construída a parede em tijolo com as dimensões 4,20 x 3,0 m, esta foi rebocada de ambos os lados com "Project Obr" com 1 cm de espessura, como primeira camada de regularização. De seguida foi efectuado o seu acabamento: numa face da parede orientada a nascente foi executado o acabamento tradicional com massa de acabamento tendo-se utilizado 5 Kg deste material; na face da parede virada a poente foi efectuado o acabamento com massa de acabamento contendo PCM tendo-se utilizado 4 Kg de massa de acabamento e 1 Kg de PCM. Resultaram assim dois espaços exactamente iguais com a mesma área de



envidraçados, um sem qualquer percentagem de PCM na camada de acabamento, outro com 25% de PCM incorporados na massa de acabamento da parede erigida.

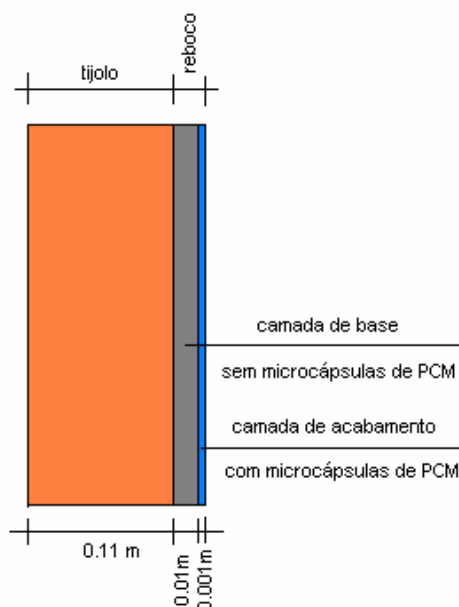


Figura 8 : Esquema de uma secção de parede de tijolo revestida numa das faces com reboco.

Verifica-se que a utilização de PCM é benéfica pois diminui em 28% a temperatura máxima nos locais que que é utilizado e aumenta a temperatura mínima em pelo menos 6%, nesses locais, sem o uso de energias, quer para arrefecimento, quer para aquecimento (figura 9).

## 6. ANÁLISE DE CUSTOS E VIABILIDADE DE APLICAÇÃO

O custo de 1 kg de cimento é € 0,08.

O custo de 1 kg de massa de acabamento é € 0,15.

O custo de um kg de PCM com as características do que foi ensaiado é de €15,00.

Na parede construída na célula térmica, foram misturados 4 kg de massa de acabamento e 1 kg de PCM, que revestiram 12m<sup>2</sup> de parede. No final do revestimento da parede, sobraram cerca de 200 gr de PCM e 800 gr de massa de acabamento, pelo que a utilização de PCM acresce em 1 €/m<sup>2</sup> o custo da camada final de acabamento. Isto é válido para a aplicação de 25% de PCM, que foi a percentagem de mistura adoptada para a massa de acabamento empregue na parede da célula térmica. Isto pressupõe também que a parede de alvenaria está muito bem construída, o que nas obras por vezes não acontece, devido à rapidez com

que são executados os trabalhos; nestas circunstâncias, o consumo de massa de acabamento e de PCM será superior aos valores considerados.

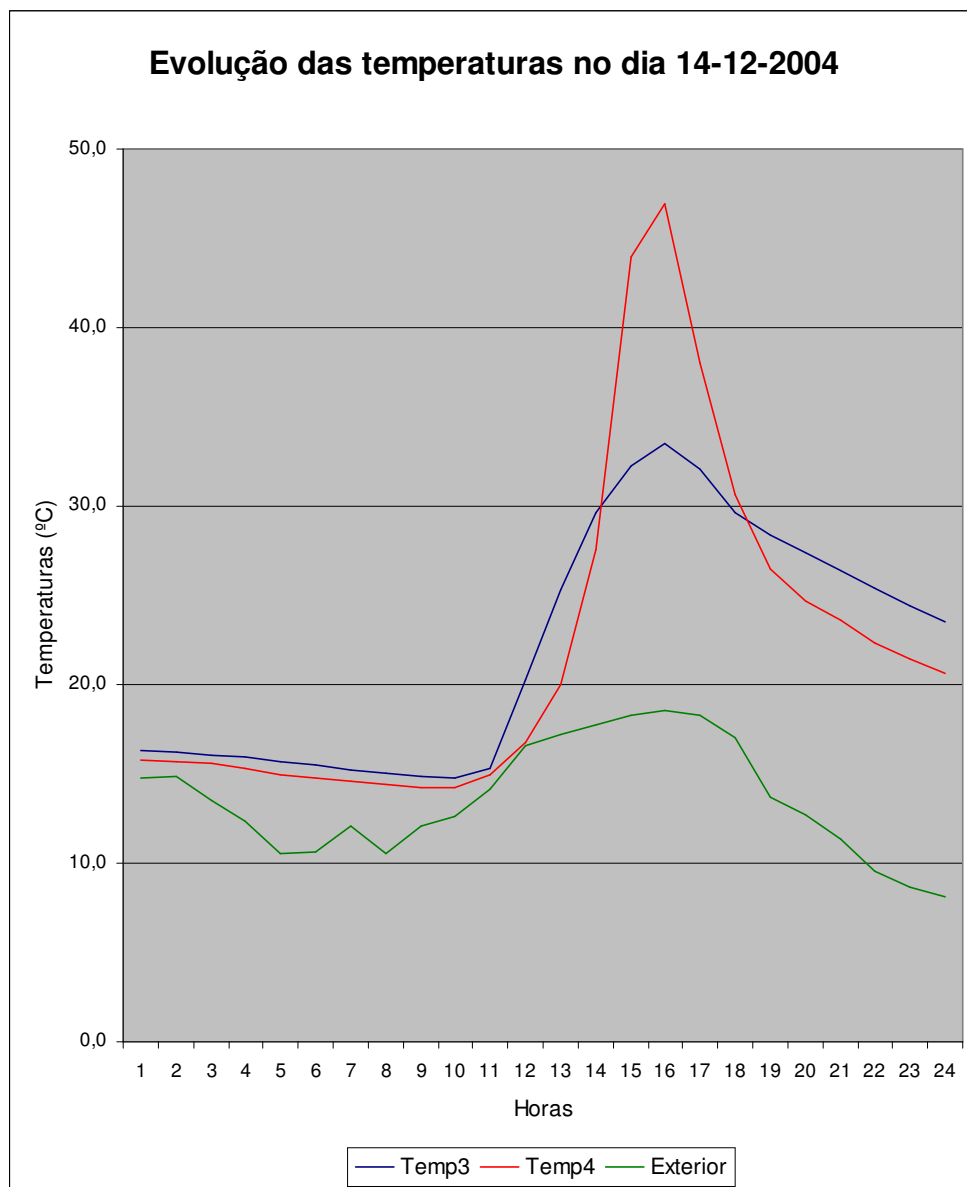


Figura 9 : Evolução das temperaturas durante o dia 14-12-2004.

Numa habitação unifamiliar corrente de r/c e andar, com 100m<sup>2</sup> de área em planta por piso, a área utilizável da habitação possui cerca de 600m<sup>2</sup> de área de superfícies (paredes e tetos), em que será possível a aplicação da massa de acabamento contendo PCM.

O custo global da aplicação de PCM será pois de € 600,00, para esta habitação. Ora, este custo será suportável, tendo em conta o preço de venda desta construção, presumivelmente superior a € 100.000,00. Se as condições ideais de construção das alvenarias, anteriormente referidas, se não verificarem e se a massa de acabamento necessária for superior aos valores anteriormente referidos, o PCM também aumentará, pelo que o custo da sua aplicação será superior a € 600,00, nunca ultrapassando, no entanto, os € 1.000,00. No entanto, nesta situação, os benefícios para os habitantes também serão maiores pois aumenta o teor de PCM.

Segundo a opinião dos responsáveis pela produção deste PCM, é de prever que este custo diminua apreciavelmente se este produto e esta tecnologia, forem empregues em grandes quantidades. O custo diminuirá também se forem adoptadas percentagens inferiores de incorporação de PCM na massa de acabamento.

A incorporação de PCM nas percentagens de 10%, 20% e 30%, mostrou-se nas experiências realizadas, perfeitamente viável relativamente ao nível do acabamento final das superfícies. No entanto, à medida que o teor de PCM cresce, diminuem as propriedades físicas da massa de acabamento, como já foi anteriormente referido. Por isso, não será aconselhável nesta fase de pesquisa, adoptar uma percentagem de incorporação além dos 30% e por uma questão de segurança, no ensaio em célula de teste a percentagem de incorporação de PCM na massa de acabamento foi de 25%.

## **7. CONCLUSÕES**

É hoje reconhecido que as tecnologias de armazenamento de energia podem contribuir significativamente para a eficiência energética, para a melhoria do meio ambiente e para o crescimento económico.

Em face das características dos PCM e da evolução tecnológica, pensou-se que pudessem ser utilizados na construção civil, como isolantes térmicos e sobretudo, introduzindo um novo conceito, como baterias térmicas, com vantagens em relação aos materiais existentes dada a sua capacidade de absorver ou libertar energia térmica, a temperaturas ambientes, que os isolantes actuais não têm.

Os PCM são baterias térmicas que podem ser utilizados na construção, em combinação com materiais existentes e segundo técnicas utilizadas.

Importa que os edifícios sejam concebidos por forma que as necessidades de energia na sua utilização possam ser minimizadas, tirando partido das condições do ambiente, do isolamento térmico da envolvente e do aproveitamento da radiação solar em termos de vãos envidraçados e de massas de armazenamento térmico (ganhos solares de inverno) ou do controle da incidência da mesma radiação pela adopção de dispositivos sombreadores (verão).

A utilização dos PCM não elimina as necessidades de aquecimento (no inverno) nem de arrefecimento (no verão), mas diminui a energia utilizada naqueles processos, devido ao seu efeito regularizador.

No inverno, ao aquecer o ambiente acima dos 20° C, os PCM incorporados na massa de acabamento fundem, absorvendo energia. Quando a temperatura desce abaixo dos 20° C, os PCM libertam a energia que entretanto acumularam e solidificam.

No Verão, quando as temperaturas sobem além dos 20° C, os PCM vão absorvendo energia que de outra forma estaria no ambiente, reduzindo assim a sua temperatura. Quando a temperatura ambiente desce, os PCM libertam a energia retida.

A camada final contendo PCM está em contacto directo com o meio ambiente o que facilita o funcionamento dos PCM. Noutra solução possível, em que os PCM são incorporados na massa do reboco monocamada, o contacto dos PCM com o ambiente não está facilitado como na solução proposta.

Os “Phase Change Materials”, (PCM), utilizam-se dentro de microcápsulas. As microcápsulas são definidas como partículas esféricas cujo tamanho está compreendido entre os 0,020 µm e os 2000 µm, compostos de um coração constituído por uma substância activa, coberto por uma casca protectora dura de material polimérico. Pode afirmar-se que são microcontentores ou microembalagens em que a parede de protecção é usualmente um polímero orgânico, embora possa ser um polímero inorgânico ou mesmo um metal, que protege um ingrediente activo ou coração.

A introdução de PCM nas percentagens de 10%, 20% e 30%, na massa de acabamento, não altera as características do acabamento final das superfícies.

A introdução de PCM nas percentagens de 10%, 20% e 30%, na massa de acabamento, diminui ligeiramente a resistência ao arrancamento, e diminui significativamente a resistência à flexão e à compressão.

Mas, a resistência do reboco final não é substancialmente afectada, pois esta depende essencialmente da resistência da camada de base, que se mantém inalterada. Noutra solução possível, em que os PCM são incorporados na massa do reboco monocamada, a resistência final sairá prejudicada em relação à solução preconizada.

A tecnologia proposta pode ser aplicada no barramento e acabamento de paredes e tectos falsos em gesso cartonado, muito utilizados nas construções.

A introdução de PCM na percentagem de 25%, na massa de acabamento, diminui em 28% (pelo menos) a temperatura máxima verificada num espaço quente; e aumenta em 6% (pelo menos) a temperatura mínima de um espaço frio. Estes valores são obtidos nos seus limites inferiores, pelo que serão provavelmente aumentados quando o PCM trabalhar em pleno.

As aplicações dos PCM utilizando a tecnologia de sistema de reboco multicamada, em que os PCM são incorporados segundo uma percentagem de 25% na camada de acabamento final (massa de acabamento) apresenta viabilidade técnica e económica.

## 8. REFERÊNCIAS

[1] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*, RCCTE, Lisboa, Fevereiro de 1990.

[2] Arshady, R., *Microspheres, Microcapsules e Liposomes*, Volume 1, 1ª. Edição, Londres, Citus Books, 1999.

[3] Novais, F., *Resistências Mecânicas de Argamassas de Gesso com Incorporação de PCM*, Projecto Individual, Departamento de Eng<sup>a</sup> Civil, Guimarães, Universidade do Minho, Julho de 2003.

[4] [www.rubitherm.com](http://www.rubitherm.com)

[5] European Committee for Standardisation (CEN), EN 998-1, *Specification for mortar for masonry, Part 1: Rendering and plastering mortar*, Brussels, April 2003.

[6] European Committee for Standardisation, prEN 13279-1, *Gypsum binders and gypsum plasters, Part 1: Definitions and requirements*, Brussels, February 2001.