

Análise da aplicação de materiais de mudança de fase para armazenamento de energia em edifícios Portugueses

José Pinheiro

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal
A61818@alunos.uminho.pt*

Catarina Araújo

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal
cba@civil.uminho.pt*

Luís Bragança

*Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal
braganca@civil.uminho.pt*

ABSTRACT: O consumo e a produção de energia está associado a impactes ambientais muito elevados. O setor dos edifícios é um dos que mais contribui para estes impactes. Isto deve-se em parte à existência de padrões de conforto cada vez mais exigentes e a um elevado ritmo de crescimento da população. O consumo de energia nos edifícios residenciais está maioritariamente associado ao aquecimento e arrefecimento do ambiente interior, de forma a obter maior conforto térmico dos ocupantes. Uma solução para reduzir estes consumos é a implementação de tecnologias e materiais de mudança de fase para armazenamento de energia térmica de forma a obter o maior rendimento económico e conforto térmico. O número de estudos sobre esta temática tem aumentando ao longo dos anos, demonstrando os benefícios deste tipo de tecnologias. Desta forma, o principal objetivo deste estudo passa pelo estudo de tecnologias construtivas com incorporação de materiais de mudança de fase para armazenamento de energia em edifícios. Os estudos a este nível permitiram concluir que a utilização deste tipo de materiais nos edifícios tem grande potencial de poupança energética. Permitiram ainda verificar que a viabilidade económica deste tipo de soluções em Portugal é ainda limitada dado ao custo inicial dos PCMs.

Keywords *Materiais de mudança de fase, Energia, Sustentabilidade.*

1. INTRODUÇÃO

A energia é uma fonte fundamental para o desenvolvimento das sociedades, pela qual o ser humano se tornou dependente. Caso não existissem recursos energéticos seria impossível para o ser humano desfrutar o estilo de vida que tem vindo a desenvolver ao longo do tempo (Rodrigues 2011).

O setor dos edifícios contribui para 30% das emissões anuais de Gases de Efeito Estufa e consome cerca de 40% da energia (EU, 2010). Contudo, os edifícios existentes representam também um potencial de poupança energético muito grande, uma vez que o seu desempenho se encontra frequentemente abaixo dos níveis de eficiência possíveis. O consumo de energia nos edifícios pode ser reduzidos entre 30% a 80% através de tecnologias comercialmente disponíveis (UNEP, 2016).

Cada vez mais há que ter em conta o aumento da escassez de fontes de energia em Portugal, sendo grande parte da energia em falta importada. Em 2010, segundo a DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia), a dependência de Portugal em termos de importação de energia foi de 77% (ADENE 2012).

A eficiência energética é definida como a otimização do consumo de energia e baseia-se na implementação de medidas e estratégias de forma a combater os desperdícios de energia ao longo de todo o processo de transformação, acompanhando todo o seu processo de produção e distribuição de energia. Para inverter as tendências dos consumos energéticos excessivos e inconscientes, existe um grande caminho a percorrer pela humanidade, sendo cada atitude individual, um passo importante para a mudança global (Rodrigues 2011).

O consumo de energia nas habitações está maioritariamente associado ao aquecimento e arrefecimento das mesmas, de forma a obter o maior conforto térmico dos ocupantes. Uma solução para reduzir estes consumos é a implementação de tecnologias e materiais de mudança de fase para armazenamento de energia térmica de forma a obter o maior rendimento económico e conforto térmico.

O armazenamento de energia térmica é um método de conservação temporária de energia para utilização futura. Em edifícios habitacionais esta energia pode ser utilizada para climatização de espaços de forma passiva ou em sistemas ativos. Pode atender assim a muitos setores como o comercial, o industrial e o habitacional. O armazenamento de energia térmica pode ser efetuado através de aquecimento ou arrefecimento de uma substância (armazenamento de calor sensível) ou através do processo de mudança de fase (armazenamento de calor latente) (Costa 2014).

No armazenamento de energia por calor latente, utiliza-se o material de mudança de fase que absorve e armazena energia calorífica ambiente, quando este transita do estado sólido para o estado líquido, o que só acontece quando a temperatura que o rodeia é superior ao ponto de fusão do material. Em seguida, este liberta a energia anteriormente armazenada quando transita do estado líquido para o estado sólido, ou seja, quando a temperatura que o rodeia é inferior ao ponto de solidificação do PCM (Phase Change Material) (Cunha et al. 2012).

O processo de armazenamento de energia dos materiais de mudança de fase é esquematicamente apresentado na Figura 1.

Como Funciona:

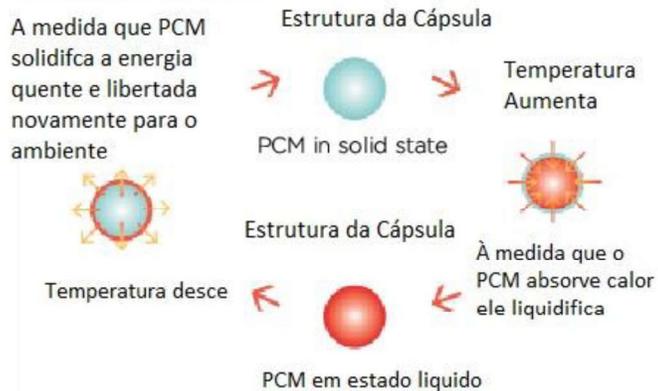


Figura 1. Processo de mudança de fase (Homebuilding&Renovating 2016).

O armazenamento de energia por calor latente tem sido visto como uma técnica promissora, do ponto de vista económico e da eficiência energética. Esta técnica utiliza materiais de mudança de fase, demonstrando vantagens como um comportamento de temperatura constante durante a mudança de fase que se deve à sua elevada densidade de armazenamento. Dessa forma, em comparação com a transferência de calor sensível, o calor latente permite uma taxa de transferência de calor mais elevado (Merlin et al. 2016).

Diversos estudos (Monteiro et al. 2005, 2007; Silva 2009; Silva et al. 2008; Waqas et al. 2016) têm sido realizados no sentido de desenvolver tecnologias com incorporação de materiais de mudança de fase em situações de armazenamento ativo ou passivo. As situações de armazenamento ativo de energia estão associadas ao uso de elementos separados termicamente do edifício, não funcionando passivamente, como é o caso dos coletores solares térmicos, por exemplo (Tyagi & Buddhi 2007).

O número de estudos sobre esta temática tem aumentando ao longo dos anos devido aos seus benefícios em sistemas de energia (Monteiro et al. 2005, 2007; Silva 2009; Silva et al. 2008; Waqas et al. 2016). O presente estudo irá se focar no armazenamento de energia térmica por calor latente, em tecnologias ativas e passivas através de materiais de mudança de fase.

2. SISTEMAS PASSIVOS

Os sistemas passivos têm como objetivo cooperar no aquecimento ou arrefecimento dos edifícios diminuindo assim o consumo de energia com sistemas de climatização (Durães 2013). Nestes sistemas a energia é captada pelos materiais que integram o edifício e flui por meios naturais por radiação e convecção.

No presente artigo serão mencionados estudos que pretenderam analisar a percentagem de PCMs a incorporar em soluções construtivas e estudos que se focaram em estudar a viabilidade da implementação de tecnologias construtivas com PCMs.

2.1 Análise da percentagem de PCMs adequada

No âmbito de argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase Cunha et al. (2012, 2013) estudaram a caracterização de argamassas aditivadas com dois materiais de mudança de fase diferentes e Monteiro et al. (2005, 2007) desenvolveram um estudo de uma nova tecnologia para ser utilizada nos espaços interiores das construções, no domínio da técnica de aplicação de argamassas.

Cunha et al. (2012, 2013) na sua investigação estudaram as propriedades específicas de diferentes PCMs, tais como granulometria, forma e entalpia, assim como, as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas aditivadas com dois PCM distintos. Através da análise de diferentes ensaios concluíram que a argamassa com incorporação de 60% de cal aérea, 40% de gesso e 20% de PCM, se revelou a mais interessante para ambos os materiais de fase testados, tendo mostrado um excelente equilíbrio entre as suas características mecânicas e retração.

Monteiro et al. (2005, 2007) concluíram que a aplicação de uma percentagem de 25% de PCM na camada de acabamento final (massa de acabamento) utilizando a tecnologia de sistema de reboco multicamada, mantém as propriedades mecânicas das argamassas em níveis admissíveis e de um ponto de vista térmico é um fator benéfico, apresentando uma boa viabilidade económica.

Não foi possível aceder às características específicas dos materiais utilizados em ambos os estudos. Contudo, embora estes estudos tenham chegado a conclusões diferentes, ambos observaram que a incorporação de percentagens de PCMs superiores a 30%, conduzem a uma diminuição nas características mecânicas e na trabalhabilidade da mistura.

2.2 Análise da viabilidade de implementação de tecnologias com materiais de mudança de fase

Em Portugal têm vindo a ser desenvolvidos nos últimos anos alguns estudos (Cerdeira,2015; Oliveira,2012; Silva et al., 2008; Silva, 2009) focados em tecnologias construtivas com incorporação de materiais de mudança de fase. Nos pontos que se seguem serão apresentados quatro exemplos. Estes estudos pretenderam analisar as vantagens da aplicação destes materiais em território português, sendo que os dois primeiros o fizeram através de simulação dinâmica e os dois últimos através de um programa experimental.

2.2.1 Análise da implementação de materiais de mudança de fase através de programas de simulação dinâmica

Em Portugal Durães (2013) e Oliveira (2012) estudaram a implementação de PCM em edifícios adequados ao clima Português, com o auxílio do programa de simulação dinâmica, *EnergyPlus*. Durães (2013) estudou a sua implementação em Lisboa enquanto que Oliveira (2012) estudou para a cidade do Porto.

Oliveira (2012) estudou o PCM que melhor se adequa ao clima da cidade do Porto, realizando o estudo em duas fases para atingir os seus objetivos. Numa primeira fase recorreu à simulação dinâmica de várias soluções construtivas correntes com a inclusão de alguns tipos de PCMs comercializados, de forma a poder concluir qual a solução construtiva que melhor se comporta. Numa segunda fase depois de encontrado o PCM com melhor

comportamento térmico, estudou os consumos energéticos num edifício unifamiliar com o uso desse PCM.

Durães (2013) estudou o tipo, quantidade e o local de aplicação de PCM mais adequado ao clima Português na zona de Lisboa, com o objetivo de reduzir o consumo de energia. Para este estudo Durães utilizou o programa de simulação dinâmica de necessidades energéticas de edifícios *EnergyPlus*. Os materiais para os quais conseguiu obter os dados necessários à realização da simulação foram o Delta Cool 24 e as Placas de Gesso Cartonado Alba® Balance. As simulações efetuadas durante um ano foram posteriormente comparadas para três dias distintos: dia mais quente; dia com temperaturas internas dentro da gama de temperaturas de fusão dos PCM em análise; e dia mais frio.

Na 1ª fase de simulação Oliveira (2012) previu que a melhor opção seria uma camada, em parede e teto do edifício com PCM Delta-Cool® 24, usando uma solução construtiva para paredes exteriores de tijolo simples com isolamento térmico pelo exterior. Esta escolha foi motivada pelo facto de o custo de construção desta solução ser inferior a outras soluções com desempenhos térmicos ligeiramente superiores.

Durães (2013) analisou, numa primeira fase um edifício com geometria simplificada, com o objetivo de conhecer o tipo, a quantidade e o local de aplicação de PCM. Foi concluído que o PCM que apresenta melhor funcionamento é do tipo macroencapsulado Delta Cool 24 aplicado na caixa-de-ar das paredes e cobertura. Para esta situação é possível aumentar no período noturno dos dias da estação de aquecimento mais comuns cerca de 0,6°C e nos dias mais quentes reduzir a temperatura nas horas de pico de calor em cerca de 0,6°C. Nos dias mais frios esta solução torna-se desvantajosa, visto que reduz a temperatura interior durante o período diurno, mas em contrapartida aumenta no período noturno, quando há uma ocupação frequente.

Numa primeira fase da simulações tanto Oliveira (2012) como Durães (2013) concluíram que o PCM que melhor se comporta é o Delta Cool 24.

Numa segunda fase de simulação Oliveira (2012) recorreu ao uso da melhor solução construtiva escolhida na 1ª fase de simulação, simulando esta solução num edifício unifamiliar, de tipologia T2. Colocou no edifício PCM apenas nos compartimentos com mais ganhos solares (nas divisões com os vãos envidraçados orientados a sul), resultando em temperaturas interiores mais elevadas e, por consequência, um melhor desempenho por parte do PCM.

Durães (2013) numa segunda fase aplicou a um edifício de habitação unifamiliar, com um sistema de climatização com 100% de eficiência, a solução que apresentou melhores resultados na fase anterior. Assim, para comparar as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento do edifício simulou o edifício com e sem PCM.

Oliveira (2012) não obteve os resultados esperados, concluindo que nas condições em que o PCM foi usado consegue-se uma poupança energética no Inverno, para os dias mais frios, mas em contrapartida é observado um gasto energético mais elevado no Verão, em relação às mesmas situações em que o estudo se integra, sem PCM.

No entanto Durães (2013) concluiu que a aplicação de PCM é vantajosa na estação de arrefecimento, mas desvantajosa na estação de aquecimento. A inclusão de PCM nas soluções construtivas aumenta as necessidades energéticas de aquecimento, pois parte da

energia fornecida pelo sistema de climatização é absorvida pelo PCM. Isto conduz a um aumento com os custos de climatização de forma a manter a temperatura interior definida no sistema de climatização. Tendo em conta os benefícios obtidos quando aplicados Delta Cool 24 de forma passiva, Durães concluiu que o custo deste material é ainda elevado. O investimento da aquisição do material para um edifício localizado em Lisboa não pôde ser recuperado uma vez que as necessidades energéticas anuais aumentaram.

Oliveira (2012) e Durães (2013) obtiveram conclusões diferentes, Oliveira (2012) com a implementação de PCM num edifício na cidade do Porto obteve uma poupança energética no Inverno para os dias mais frios, enquanto que Durães (2013) com a implementação de PCM num edifício em Lisboa obteve vantagens na estação de arrefecimento. Uma vez que o território Nacional apresenta diferentes climas deveria ser estudado em diferentes zonas do País a sua implementação, como também a utilização de outras soluções construtivas com diferentes tipos de PCM.

2.2.2 Análise da implementação de materiais de mudança de fase através de uma aplicação prática

Silva et al. (2009; 2008) e Cerdeira (2015) fizeram uma análise da implementação de PCMs através de um programa experimental.

Silva et al. (2009; 2008) estudaram a influência da utilização de PCM na construção. Estudando em particular a incorporação de PCM microencapsulado em pastas de gesso com desempenho térmico melhorado para revestimento interior de paredes e tetos no ambiente interior de edifícios habitacionais, de forma a obter uma diminuição do consumo de energia e a sua quantificação. Os objetivos do estudo consistiram-se na avaliação do comportamento mecânico e térmico do material por comparação com pastas de gesso convencionais.

Cerdeira (2015) estudou um sistema solar passivo aplicado em fachadas com parede de trombe, a qual constitui uma tecnologia construtiva que permite a diminuição dos consumos energéticos dos edifícios. Avaliou, o efeito da incorporação de PCM's, nomeadamente um PCM à base de Parafina e outro à base de Octadecano.

O programa experimental de Silva et al. (2009; 2008) foi planeado para a avaliação das propriedades mecânicas e térmicas do material, através da realização de ensaios em laboratório na Universidade do Minho, em células de teste e em obra.

No entanto o trabalho experimental de Cerdeira (2015) consistiu no desenvolvimento de projeto, da construção, da instrumentação e monitorização de seis modelos de teste, onde 4 modelos demonstram o sistema construtivo de uma fachada com parede de trombe. Foram aplicados vários materiais distintos: uns em argamassa cimentícia tradicional, dois foram incorporados com PCM's e um com granito. No quinto modelo substituiu a parede de trombe por uma fachada de acrílico e no sexto por uma fachada cimentícia, servindo o último modelo para comparação e validação dos resultados.

Em células de teste, Silva et al. (2009; 2008) verificou uma redução de temperatura máxima em cerca de 5° atingida 3 horas mais tarde e um aumento da temperatura mínima de cerca de 1.5°C atingida 2 horas mais tarde. Na estrutura de um edifício, o método de incorporação de PCM e o seu local de suporte, a forma mais favorável parece ser a utilização de placas de gesso cartonado e argamassa de revestimento. O teor de incorporação, dimensão e localização dependem do clima e das características arquitetónicas, sendo a otimização

destes parâmetros fundamentais para uma aplicação bem sucedida. A solução mais viável aparenta ser o microencapsulamento. Este estudo conclui que a utilização de PCM nos edifícios apresenta vantagens tanto na humidade relativa como a nível das temperaturas interiores.

Nos ensaios de aderência e de compressão, Cerdeira (2015) concluiu que nas argamassas com adição de PCM a resistência reduz 50 % comparativamente com as argamassas cimentícias tradicionais. Este autor concluiu que a parede de granito de cor preta tem mais rendimento em relação à parede de granito de cor cinzenta, pois as temperaturas atingidas são de maior conforto, assim com todos os modelos de cor escura. Verificou que o sistema mais vantajoso é o ventilado, porque permite um maior conforto térmico quer durante o dia quer durante a noite, pois permite a troca de ar entre o sistema construtivo e o espaço interior dos modelos de teste. Cerdeira (2015) concluiu relativamente à condutibilidade térmica que os modelos com parede de trombe em granito e com parede de trombe em PCM – Parafina apresentam valores bastantes interessantes pois apresentam uma condutividade térmica mais baixa que os restantes modelos, o que demonstra que o granito e o PCM – Parafina não permitem dissipação da energia no interior dos edifícios.

Tanto Cerdeira (2015) como Silva et al. (2009; 2008) encontraram vantagens na utilização de PCM, mas uma vez que o seu estudo foi experimental não obtiveram dados de algumas estações do ano, ou seja, o seu estudo é limitado para um certo período de tempo. A realização de uma simulação do modelo experimental permitiria obter conclusões mais abrangentes em ambos os estudos.

3. SISTEMAS ATIVOS

Os sistemas ativos têm como objetivo aumentar a eficiência dos sistemas de climatização e consecutivamente reduzir o consumo de energia (Durães 2013). Nestes sistemas a energia é captada ou transportada por equipamentos que utilizam energia auxiliar (Durães 2013). No âmbito desta temática têm sido desenvolvidos vários estudos (Evola et al. 2014; Hed & Bellander 2006; Waqas et al. 2016).

Waqas et al. (2016) e Hed & Bellander (2006) estudaram o arrefecimento gratuito em edifícios através da implementação de materiais de mudança de fase em que estes se encontram em contacto direto com o ar. Waqas et al. (2016) estudaram experimentalmente enquanto que Hed & Bellander (2006) estudaram por simulação dinâmica.

Com o uso de materiais de mudança de fase integrados num edifício em placas encapsuladas, localizado no teto, Hed & Bellander (2006) concluíram que o coeficiente de transmissão térmica entre o ar e o PCM aumenta significativamente quando a superfície é rugosa comparada a uma superfície polida (sendo válido para a grossura de 0.02m). O coeficiente de transmissão térmica para uma velocidade do ar de 4 m/s varia entre 13-30 W/m².°C.

Waqas et al. (2016) investigaram o uso de uma unidade de armazenamento de energia no sistema de ventilação dos edifícios, em climas quentes e frio. Experimentalmente foi investigada a influência da temperatura e circulação do ar nas tubagens de acumulação de frio com PCMs (Waqas et al. 2016). Através de resultados experimentais Waqas et al. (2016)

concluíram que o PCM pode ser usado para manter a temperatura do ar quente entre certos limites durante o dia, através da libertação do ar armazenado no PCM durante a noite.

Para seis cidades Europeias Arkar (2008) estudou o potencial de um dispositivo de arrefecimento natural incorporando PCM num sistema de ventilação mecânica. Arkar (2008) concluiu que para uma taxa de três renovações de ar durante o período noturno, a temperatura de fusão ótima era de 2 °C acima da média das temperaturas ambiente dos três meses de Verão (Junho a Agosto), ou aproximadamente igual à temperatura ambiente média do mês mais quente. A razão ótima entre a massa de PCM e o fluxo de ar que passa através do sistema foi determinada em 1-1.15 Kg/m³/h.

Evola et al. (2014), através de um caso de estudo, investigaram um melhoramento do conforto térmico dos edifícios, durante a estação de Verão, e identificaram a distribuição de temperaturas ao longo do sistema de ventilação. Neste caso foi utilizado um PCM encapsuladas em contacto direto com as paredes divisórias. Através de simulação numérica Evola et al. (2014) concluíram que o sistema permitia obter uma redução da temperatura operacional média de um compartimento em Julho em cerca de 0.4 °C. Na maior parte do tempo as condições de conforto foram controladas, e as sensações de desconforto menos intensas.

Em Espanha Gracia et al. (2014) efetuaram uma avaliação e estudo do ciclo de vida (LCA) baseado no Ecolíndice 99 de uma fachada ventilada com PCM na sua câmara-de-ar. Em Puigverd de Lleida (Espanha) foram construídos experimentalmente dois cubículos, com e sem o sistema de fachada ventilada. As diferenças de consumos de energia dos sistemas AVAC foram registadas e utilizadas para determinar as poupanças ambientais durante a fase operacional de cada edifício. A utilização deste sistema levou a uma redução significativa do consumo de energia elétrica do sistema de climatização tanto para aquecimento como para arrefecimento. Estas reduções do consumo energético produzem poupanças económicas e ambientais durante a fase operacional. Os resultados do LCA mostraram que, considerando uma vida útil de 50 anos, a utilização desta fachada ventilada, reduz em 7.7% o impacto ambiental global de todo o edifício. O retorno ambiental deste sistema ativo é significativamente mais baixo que os outros que utilizam PCM. O retorno ambiental do sistema é de 30 anos, que pode ser reduzido em 6 anos, se em vez de aço for utilizada madeira na estrutura.

A utilização dos sistemas passivos com incorporação de PCM's num edifício nem sempre se adequam bem a climas extremos (Iten et al. 2016). Nestas situações os métodos ativos podem ser adotados para permitir poupanças energéticas (Iten et al. 2016).

4. CONCLUSÃO

Neste artigo pretendeu-se apresentar uma visão geral do estado da arte ao nível dos materiais de mudança de fase na atualidade.

Os estudos já realizados a este nível permitem concluir que a utilização deste tipo de material nos edifícios que através de sistemas ativos quer passivos tem um grande potencial de poupança energética. Contudo, verificou-se também que a viabilidade económica deste tipo de soluções em Portugal é ainda limitada dado o custo inicial dos PCMs. Este facto pode ser justificado pela baixa aplicação (baixa procura) destes materiais em Portugal.

Por outro lado, os estudos efetuados ainda não cobrem grande parte do território Português pelo que o desenvolvimento de estudos deste tipo para outros pontos do país é de extrema relevância.

5. AGRADECIMENTO

Este trabalho insere-se no contexto das atividades de investigação desenvolvidas no âmbito da rede URBENERE, apoiada pelo CYTED “Programa iberoamericano da Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo”.

REFERÊNCIAS

- ADENE. 2012. “*Guia Da Eficiência Energética.*” Retrieved June 9, 2016. (http://www.adene.pt/sites/default/files/guiaee_v1310.pdf /).
- Arkar, Ciril. 2008. “*Correlation between the Local Climate and the Free-Cooling Potential of Latent Heat Storage.*” 40:429–37.
- Cerdeira, Sónia. 2015. “*ESTUDO DE UM SISTEMA SOLAR PASSIVO COM INCORPORAÇÃO DE PCM’S.*” Instituto Politécnico de Bragança - Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
- Costa, Susana. 2014. “*Armazenamento de Energia Térmica Através de Materiais de Mudança de Fase.*” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cunha, Sandra, Aguiar, José, Kheradmand, Mohammad, Bragança, Luís, Ferreira, Vitor. “*Thermal mortars with incorporation of PCM microcapsules.*” *Restoration of Buildings and Monuments - An International Journal*, Vol. 19, No. 2/3, pp: 171-177, 2013. <http://hdl.handle.net/1822/26200>
- Cunha, Sandra, Aguiar, José, Martins, Vânia, Ferreira, Vitor, and António Tadeu. 2012. “*Influência Da Adição de Microcápsulas de PCM Em Argamassas de Cal Aérea.*” *Congresso Construção 2012*, Coimbra Portugal.
- Durães, Tiago. 2013. “*Identificação Do Tipo E Quantidade de PCM Adequado Ao Clima Português - Lisboa.*” Universidade do Minho.
- EU, 2010. Directive 31/2010/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings E. Parliament, ed.
- Evola, G., L. Marletta, and F. Sicurella. 2014. “*Simulation of a Ventilated Cavity to Enhance the Effectiveness of PCM Wallboards for Summer Thermal Comfort in Buildings.*” *Energy & Buildings* 70:480–89. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.089>).
- Gracia, Alvaro De, Lidia Navarro, Albert Castell, Dieter Boer, and Luisa F. Cabeza. 2014. “*ScienceDirect Life Cycle Assessment of a Ventilated Facade with PCM in Its Air Chamber.*” *Solar Energy* 104:115–23. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.07.023>).
- Hed, G. and R. Bellander. 2006. “*Mathematical Modelling of PCM Air Heat Exchanger.*” 38:82–89. *Homebuilding&Renovating*. 2016. “*Homebuilding&Renovating - Phase Change Materials.*” Retrieved June 9, 2016 (<https://www.homebuilding.co.uk/phase-change-materials/>).
- Iten, Muriel, Shuli Liu, and Ashish Shukla. 2016. “*A Review on the Air-PCM-TES Application for Free Cooling and Heating in the Buildings.*” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 61:175–86. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.007>).
- Merlin, Kevin, Delaunay, Didier, Soto, Jérôme, and Traonvouez, Luc. 2016. “*Heat Transfer Enhancement in Latent Heat Thermal Storage Systems : Comparative Study of Different Solutions and Thermal Contact Investigation between the Exchanger and the PCM.*” *APPLIED ENERGY* 166:107–16. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.012>).
- Monteiro, José, Aguiar, José, Bragança, Luís, Gomes, Jaime, and Pedro Santos. 2005. “*Argamassas Com Desempenho Térmico Melhorado Portugal Portugal Pedro Santos Micrópolis Portugal.*” *Congresso Nacional de Argamassas de Construção*.
- Monteiro, José, Aguiar, José, Bragança, Luís and Gomes, Jaime, “*Argamassas incorporando microcápsulas de materiais de mudança de fase (PCM), seu processo de obtenção e sua utilização no revestimento interior de sistemas construtivos*”, Patent number: 103 336, 2007.
- Oliveira, Daniel. 2012. “*Identificação Do Tipo E Quantidade de PCM Adequado Ao Clima Português.*” Universidade do Minho.
- Rodrigues, Maria. 2011. “*Eficiência Energética No Setor Residencial.*” Faculdade de Ciências e

Tecnologia Universidade de Coimbra.

Silva, Nelson, Aguiar, José, Bragança, Luís, Freire, Teresa, Cardoso, Isabel; Properties of Gypsum-PCM Based Mortars for Interior Plastering of Construction Systems. Advanced Materials Forum IV, *Journal of Materials Science Forum*, Vols. 587-588, pp. 913-917, September 2008. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.587-588.913

Silva, Nelson. 2009. *"Incorporação de Materiais de Mudança de Fase Em Materiais de Construção."* Universidade do Minho.

Tyagi, Vineet Veer and Buddhi, D. Ā. 2007. *"PCM Thermal Storage in Buildings: A State of Art."* 11:1146-66.

UNEP. 2016. United Nations Environment Programme environment for development - Why Buildings? Retrieved July 11, 2016, from <http://www.unep.org/sbci/AboutSBCI/Background.asp>

Waqas, A., S. Kumar, A. Waqas, and S. Kumar. 2016. *"Utilization of Latent Heat Storage Unit for Comfort Ventilation of Buildings in Hot and Dry Climates COMFORT VENTILATION OF BUILDINGS IN HOT AND."* 5075(June).