

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E DURABILIDADE DE ARGAMASSAS TÉRMICAS

Sandra Cunha^{1*}, José Aguiar¹, Victor Ferreira² e António Tadeu³

1: Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal
Sandracunha86@gmail.com

2: Universidade de Aveiro
Campus Universitário de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal
victorf@ua.pt

3: Universidade de Coimbra
Rua Luís Reis Santos - Pólo II da Universidade, 3030-788 Coimbra, Portugal
tadeu@dec.uc.pt

Palavras-chave: Argamassas, Material de Mudança de Fase, Comportamento Mecânico, Durabilidade.

Resumo. *O despertar da consciência ambiental pela sociedade, tem levantado problemas até então ignorados tais como os elevados consumos energéticos. Numa sociedade com um elevado ritmo de crescimento e padrões de conforto cada vez maiores, surge a necessidade de minimizar os elevados consumos energéticos verificados no sector residencial, tirando partido de fontes de energia renováveis.*

As argamassas com incorporação de materiais de mudança de fase (PCM) para revestimento no interior dos edifícios, possuem a capacidade de regular a temperatura, contribuindo desta forma para o aumento do nível de conforto térmico dos ocupantes 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 física e mecânica de argamassas aditivadas com PCM, assim como na avaliação da sua durabilidade. Para tal foram desenvolvidas 12 composições distintas, à base de diferentes ligantes, sendo estes o cimento, cal aérea, cal hidráulica e gesso. Foram desenvolvidas argamassas de referência e argamassas dopadas com 40% de PCM. Tendo sido possível observar que a incorporação de PCM provoca diferenças significativas em propriedades tais como a trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à flexão, aderência, absorção de água por capilaridade, absorção de água por imersão e resistência a ações de gelo-degelo. Contudo, foi possível concluir que a incorporação de PCM nas argamassas pode ser realizada com sucesso. Sendo que, as alterações verificadas nas argamassas podem ser contornadas através da incorporação de uma maior dosagem de ligante, superplastificante e até mesmo a inclusão de fibras.

1. INTRODUÇÃO

Todos os anos, uma energia de cerca de 5×10^{24} J é fornecida pelo sol e atinge toda a superfície terrestre. Esta quantidade é cerca de 10000 vezes superior ao consumo real de energia por ano em todo o mundo. Assim, a necessidade de encontrar uma forma de tirar proveito deste recurso, juntamente com a procura de uma melhoria na qualidade do meio ambiente, é enorme. Isto tem conduzido os esforços da comunidade científica em combinar o uso de energia solar e materiais de construção funcionais, que permitam limitar o consumo de energia [1].

Atualmente, o elevado ritmo de crescimento das áreas urbanas e o aumento dos parâmetros de conforto, têm vindo a provocar um acréscimo nos consumos energéticos, tornando-se numa das maiores preocupações da sociedade atual. Este problema deve-se ao uso excessivo de energia proveniente de fontes não renováveis, que provocam graves impactos no meio ambiente. Sabendo-se que grande parte do consumo de energia elétrica no setor residencial está associado ao aquecimento e arrefecimento, torna-se urgente a implementação de soluções construtivas que visem aumentar a eficiência energética dos edifícios.

A capacidade de diminuir e deslocalizar os consumos energéticos, associada à utilização de materiais de mudança de fase (PCM), potenciam a sua utilização em argamassas como uma solução para a melhoria da eficiência energética dos edifícios. Desta forma, a incorporação de materiais de mudança de fase em sistemas construtivos possui benefícios sociais, económicos e ambientais, possibilitando um contributo significativo nas diferentes dimensões do desenvolvimento sustentável.

Aliando a baixa espessura conseguida com a utilização de materiais de mudança de fase a soluções de construção flexíveis, é possível obter soluções com maior capacidade de adaptação ao tempo de vida das construções, caminhando no sentido de uma construção mais sustentável.

Numa sociedade que cada vez se preocupa mais com a sustentabilidade e boas práticas de construção, a durabilidade adquire cada vez mais um papel importante. A durabilidade dos materiais não é uma característica intrínseca, mas sim uma característica relacionada com o desempenho do material ao longo da sua vida útil, estando este sujeito a determinadas condições ambientais. Desta forma, não é possível generalizar o conceito de durabilidade, uma vez que este deve ser especificado tendo em conta o ambiente onde este vai ser aplicado [2].

A durabilidade dos materiais de construção encontra-se diretamente relacionada com a sustentabilidade dos mesmos. Uma vez que materiais mais duráveis conduzem a menores ações de reabilitação, o que conseqüentemente origina menores consumos de matérias-primas, energia e produção de resíduos. Durabilidade de um material, por definição, é a capacidade de suportar o desgaste ou deterioração. Até recentemente, existia uma suposição errada de que um material mais resistente, seria por consequência um material mais durável. Portanto, os desenvolvimentos tecnológicos dos materiais de construção concentraram-se em obter cada vez materiais mais resistentes.

O principal objetivo deste trabalho, consiste no desenvolvimento e caracterização de argamassas com incorporação de PCM. Foram desenvolvidas 12 composições distintas, com base em diferentes ligantes, de forma a poder observar a influência da adição destes materiais em vários tipos de argamassas. As argamassas desenvolvidas foram testadas quanto às suas características físicas e mecânicas, assim como a avaliação da sua durabilidade.

A avaliação das características físicas e mecânicas, foi realizada segundo os ensaios de trabalhabilidade, resistência à flexão, resistência à compressão e aderência.

A durabilidade das argamassas desenvolvidas foi avaliada tendo em conta três ensaios típicos, sendo estes ensaios de gelo/degelo, absorção de água por capilaridade e porosidade.

Apesar dos vários estudos realizados com materiais de mudança de fase e da importância do conhecimento da influência da adição destes materiais em argamassas com base em diferentes ligantes assim como da sua durabilidade, estas são ainda áreas com necessidades de estudo urgentes.

2. MATERIAIS DE MUDANÇA DE FASE: CONTRIBUTO PARA A SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

Os materiais de mudança de fase, possuem a capacidade de mudar o seu estado em função da temperatura ambiente. Quando a temperatura ambiente que rodeia o PCM aumenta e passa o ponto de fusão do material, este passa do estado sólido para estado líquido, absorvendo e armazenando a energia calorífica ambiente. Quando a temperatura ambiente baixa, e passa o ponto de solidificação do PCM, então este passa do estado líquido para o estado sólido, libertando a energia anteriormente armazenada.

A incorporação de materiais de mudança de fase em edifícios possui impactos benéficos na dimensão social, económica e ambiental, demonstrando 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 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 termoregulador 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

A seleção dos materiais, tais como ligantes e microcápsulas de PCM teve em consideração trabalhos anteriores [3-5]. Nesta investigação foram utilizados quatro ligantes diferentes: cimento Portland CEM II B-L 32.5N, cal hidráulica NHL5, cal aérea e gesso. A areia utilizada apresentou um tamanho de partícula médio de 439,9 μm e uma massa volúmica real de 2600 kg/m^3 . O superplastificante utilizado é baseado em poliacrilato, com densidade de 1050 kg/m^3 . Por último, as fibras utilizadas são fibras sintéticas de poliamida, com um comprimento de 6 mm e densidade de 1380 kg/m^3 .

Tendo como objetivo o conhecimento das microcápsulas de PCM foram efetuados vários ensaios para a sua caracterização. As microcápsulas 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 de PCM apresenta uma textura regular. Com o objetivo de obter dados mais precisos relacionados com as suas dimensões, foram realizados

ensaios de granulometria, com recurso a um granulómetro laser. Sendo possível observar que possuem uma distribuição de partícula de 5.8-339 μm , apresentando um tamanho médio de partícula de 43.91 μm .

3.2. Composições e fabrico

Foram desenvolvidas 12 formulações distintas com base nos diferentes ligantes, as quais se apresentam na Tabela 1. As formulações em estudo são constituídas por diferentes ligantes, existindo sempre uma composição de referência, ou seja sem adição de PCM, e uma composição com incorporação de 40% de PCM. Com o objetivo de suprimir alguns problemas relacionados com a retração das argamassas foram ainda desenvolvidas argamassas com incorporação de fibras de poliamida. No que diz respeito às argamassas de cal aérea foi ainda necessário desenvolver composições para dosagens mais elevadas de ligante, com o objetivo de se obter um melhor desempenho mecânico.

Tabela 1. Formulação das argamassas (kg/m^3).

Composição	Ligante		Areia	PCM	Superplastificante	Fibras	Água
CA500-0PCM	Cal Aérea	500	1447,2	0	15	0	225
CA800-40PCM	Cal Aérea	800	451,2	180,5	24	0	272
CA800-80PCM-F	Cal Aérea	800	447,7	179,1	24	4	272
CH500-0PCM	Cal Hidráulica	500	1351,1	0	15	0	270
CH500-40PCM	Cal Hidráulica	500	571,6	228,6	15	0	310
CH500-40PCM-F	Cal Hidráulica	500	569,4	227,8	15	2,5	310
C500-0PCM	CEM II B-L 32.5N	500	1418,8	0	15	0	275
C500-40PCM	CEM II B-L 32.5N	500	644,3	257,7	15	0	280
C500-40PCM-F	CEM II B-L 32.5N	500	642,2	256,9	15	2,5	280
G500-0PCM	Gesso	500	1360,4	0	15	0	280
G500-40PCM	Gesso	500	540,1	216,0	15	0	350
G500-40PCM-F	Gesso	500	537,9	215,2	15	2,5	350

O processo de mistura e fabrico dos provetes para a determinação da resistência à compressão e flexão foi efetuado de acordo com norma EN 1015-11, com ligeiras adaptações devido à incorporação do PCM [6]. Para cada composição, foram moldados 3 provetes prismáticos com $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$. Relativamente aos ensaios de determinação da aderência, o procedimento de preparação dos elementos de ensaio foi realizado em conformidade com a norma EN 1015-12 [7]. Para cada composição em estudo, foram preparados cinco provetes circulares com um diâmetro de 50 mm.

Relativamente à avaliação da durabilidade, no que respeita ao ensaio de absorção de água por capilaridade e absorção de água por imersão foram moldados 3 provetes prismáticos para cada composição com $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ em conformidade com a norma europeia EN 1015-18 e a especificação LNEC E 394 [8-9]. Para a realização dos ensaios de gelo-degelo foram moldados cinco provetes cúbicos com $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$, para cada composição de acordo com a especificação CEN/TS 12390-9 [10].

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.

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 [11]. O valor resultante do

ensaio apenas foi considerado, quando compreendido entre 200-220 mm.

De acordo com a Figura 1 foi possível verificar um aumento na quantidade de água a adicionar à argamassa com a incorporação de 40% de microcápsulas de PCM. Sendo que a incorporação de 40% de PCM originou um aumento na quantidade de água superior a 15% para as argamassas à base de cal hidráulica e gesso. Nas argamassas à base de cimento o aumento verificado foi de apenas 2%. Este comportamento, é justificado pela finura característica das microcápsulas de PCM e também pela possível absorção da parede polimérica que as constitui. Contudo, nas argamassas à base de cal aérea verificou-se uma diminuição da quantidade de água de cerca de 24%, o que é justificado pela presença de uma maior dosagem de superplastificante, uma vez que a quantidade deste é proporcional à dosagem de ligante.

No que diz respeito à incorporação das fibras de poliamida, foi possível verificar que a sua incorporação não provocou qualquer alteração na quantidade de água a adicionar às argamassas.

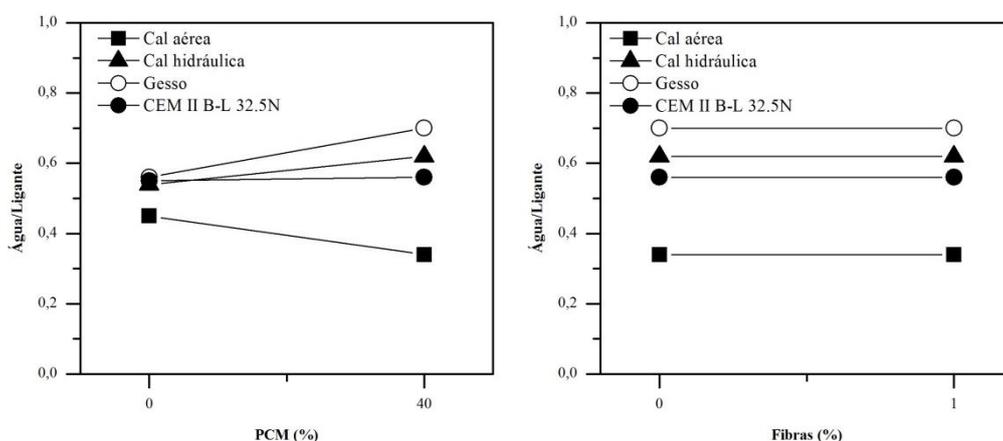


Figura 1. Relação água/ligante presente nas argamassas.

4.2. Comportamento à flexão e compressão

A avaliação da resistência à flexão e compressão foi efetuada com base na norma europeia EN 1015-11 [6]. 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 50N/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 150N/s.

De acordo com a Figura 2, foi possível observar que a incorporação de PCM originou uma diminuição da resistência à flexão e compressão em todos os ligantes estudados. Sendo que a incorporação de 40% de microcápsulas de PCM originou uma diminuição da resistência à flexão superior a 35%. No que diz respeito à resistência à compressão foi possível observar uma diminuição do seu valor superior a 59%. A diminuição verificada na resistência à flexão e compressão com a incorporação de PCM, encontra-se relacionada com a presença de uma maior dosagem de água nas dopadas com este material, sendo que a evaporação da água de amassadura origina maiores índices de porosidade, que por sua vez fragilizam a resistência das argamassas.

Contudo, durante o desenvolvimento deste trabalho o principal objetivo foi a obtenção de argamassas com qualidade suficiente para aplicação em rebocos interiores, pelo que foi efetuada a classificação das mesmas segundo a resistência à compressão, de acordo com a norma NP EN 998-1 [12]. Assim, a premissa desta investigação foi a obtenção de argamassas aditivadas com material de mudança de fase com uma classe mínima de resistência CSII. De acordo com a Tabela 2, foi possível comprovar que todas as argamassas desenvolvidas possuem uma classe de resistência adequada para

aplicação na indústria da construção. Contudo, alguns estudos iniciais, permitiram verificar que as argamassas à base de cal aérea mostravam uma classificação inferior pelo que foi realizada uma nova campanha experimental, enriquecendo as argamassas com uma dosagem superior de ligante de 800kg/m^3 . Assim, foi possível verificar que mesmo as argamassas sofrendo uma diminuição das suas características mecânicas estas ainda se encontram em boas condições de aplicação.

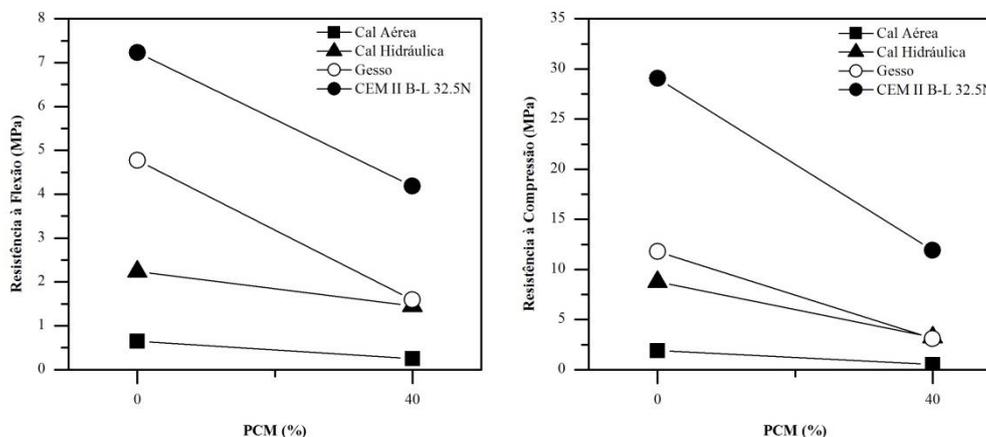


Figura 2. Comportamento à Flexão e Compressão das argamassas.

Tabela 2. Formulação das argamassas (kg/m^3).

Composição	Ligante	Resistência à Compressão (MPa)	Classificação da argamassa NP EN 998-1:2010
CA500-0PCM	Cal Aérea	1,90	CSII
CA800-40PCM	Cal Aérea	1,53	CSII
CA800-80PCM-F	Cal Aérea	3,46	CSII
CH500-0PCM	Cal Hidráulica	8,76	CSIV
CH500-40PCM	Cal Hidráulica	3,24	CSII
CH500-40PCM-F	Cal Hidráulica	3,48	CSII
C500-0PCM	CEM II B-L 32.5N	29,05	CSIV
C500-40PCM	CEM II B-L 32.5N	11,91	CSIV
C500-40PCM-F	CEM II B-L 32.5N	10,69	CSIV
G500-0PCM	Gesso	11,78	CSIV
G500-40PCM	Gesso	3,10	CSII
G500-40PCM-F	Gesso	2,49	CSII

A Figura 3 apresenta o comportamento mecânico das argamassas com incorporação de fibras. No que diz respeito à resistência à flexão foi possível observar um incremento de cerca de 51% para as argamassas à base cal. Sendo que se pode considerar que as argamassas à base de cal hidráulica, gesso e cimento não apresentaram nenhuma influencia relacionada com a incorporação de fibras. Contudo, a melhoria verificada essencialmente para as argamassas à base de cal aérea encontra-se relacionada com a capacidade de oposição à formação de fendas que as fibras oferecem.

No que diz respeito à sua resistência à compressão é possível verificar um aumento significativo nas argamassas à base de cal aérea. O que se encontra relacionado com a capacidade que as fibras possuem em preencher alguns dos vazios na microestrutura da argamassa, diminuindo desta forma a porosidade e consequentemente aumentando a sua resistência e também pela presença de uma maior dosagem de ligante. Os restantes ligantes não exibem nenhuma influência significativa no seu comportamento à compressão.

4.3. Aderência

A avaliação da aderência foi realizada com base na norma EN 1015-12 [7]. O ensaio permitiu estimar a aderência das argamassas aos 28 dias de idade, quando aplicadas a um substrato cerâmico.

Os ensaios de aderência apenas foram realizados para as composições de referência (0% PCM) e para as composições com incorporação de 40% de PCM e 1% de fibras de poliamida, uma vez que as composições com incorporação de 40% de PCM e sem qualquer adição de fibras revelaram uma elevada retração, apresentando fissuras à superfície o que impossibilitou a realização destes ensaios.

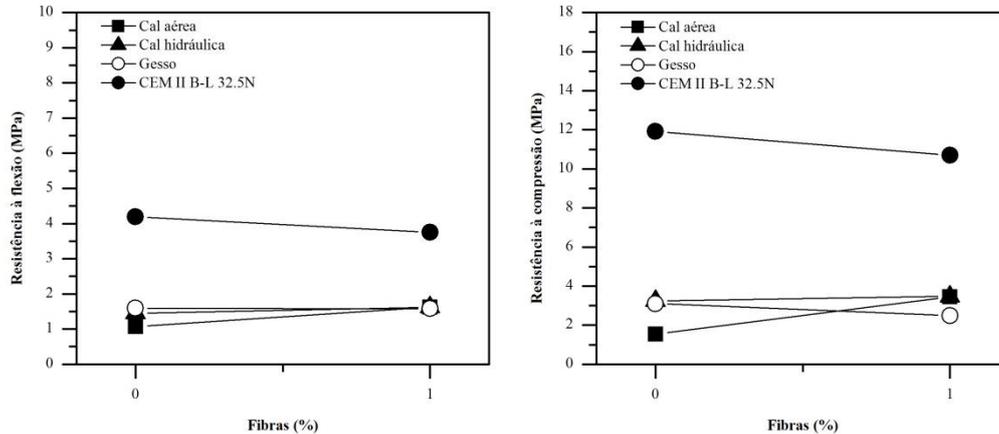


Figura 3. Comportamento à Flexão e Compressão das argamassas com incorporação de fibras.

A Figura 4 apresenta os resultados obtidos durante a realização destes testes. Sendo possível verificar uma diminuição da aderência com a incorporação de material de mudança de fase. A incorporação de 40% de PCM provocou uma diminuição da aderência superior a 33%, o que pode ser justificado pela diminuição verificada na resistência à flexão e compressão, que mais uma vez se encontra relacionado com a presença de uma maior porosidade, devido à presença de uma maior relação de água/ligante.

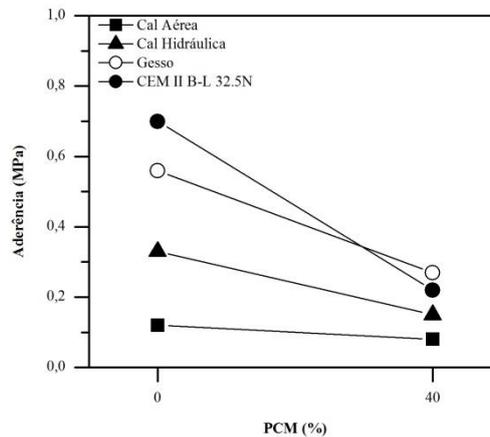


Figura 4. Aderência das argamassas desenvolvidas.

4.4. Absorção de água por capilaridade

A capacidade de absorção de água das argamassas possui uma grande influência na sua durabilidade, uma vez que esta característica determina a facilidade de penetração de agentes agressivos no interior das mesmas.

A realização deste ensaio foi efetuada com base na especificação EN 1015-18 [8]. Os elementos de ensaio foram obtidos por corte, através dos ensaios de flexão para 3 provetes prismáticos, resultando assim em 6 elementos de ensaio. Em todos os provetes optou-se por colocar em contacto com a água a face resultante das operações de corte de acordo com o ensaio de flexão. Garantindo-se desta forma que a face em contacto com a água possuía os canais capilares realmente presentes na argamassa em estudo, eliminando-se desta forma o contacto da água com uma face mais rica em finos e consequentemente com menos vazos capilares.

De acordo com a Figura 5 foi possível verificar que as argamassas à base de gesso apresentam os maiores valores de coeficiente de absorção de água por capilaridade. Enquanto, as argamassas de cimento apresentam valores significativamente mais baixos, quando comparadas com os restantes ligantes.

A incorporação de 40% de PCM causou uma diminuição no coeficiente de absorção capilar de cerca de 15% nas argamassas à base de cal hidráulica e de cerca de 33% nas argamassas à base de cimento. Por outro lado, também foi possível observar um aumento no coeficiente de absorção capilar de cerca de 9% para as argamassas de cal aérea e de 17% nas argamassas à base de gesso.

No que diz respeito à incorporação de 1% de fibras de poliamida e tendo em consideração que o seu objetivo principal foi controlar a retração em argamassas desenvolvidas, a sua presença originou uma diminuição no coeficiente de absorção capilar de cerca de 4% nas argamassas de cal aérea, 13% nas argamassas à base de gesso e 63% em argamassas à base de cimento. As argamassas à base de cal hidráulica não apresentaram qualquer alteração. O que pode ser justificado pela conservação da razão água/ligante e também pelo facto destas fibras ocuparem total ou parcialmente alguns dos poros presentes na microestrutura das diferentes argamassas estudadas, reduzindo assim o efeito da presença de uma maior relação de água / ligante nas argamassas com incorporação de PCM.

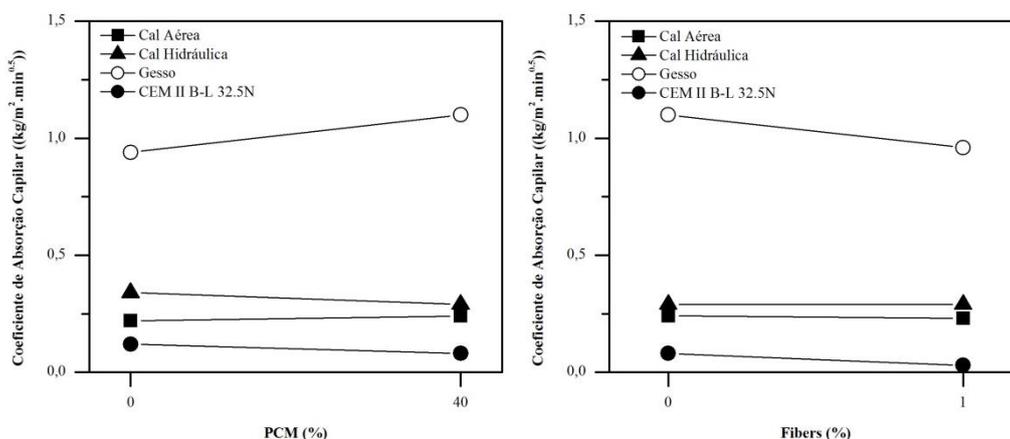


Figura 5. Coeficiente de Absorção capilar.

4.5. Absorção de água por imersão

A determinação da absorção de água por imersão foi efetuada com base na especificação do LNEC E 394 [9].

Inicialmente os provetes foram secos em estufa até atingirem a massa contante. Posteriormente foram saturados num recipiente com água de consumo a uma temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$, até atingirem novamente a massa constante, ou seja uma variação de massa inferior a 0.1% em medições sucessivas intervaladas de 24 horas. Por último foi determinada a sua massa hidrostática após a saturação.

A análise dos resultados obtidos (Figura 6) permite verificar que a incorporação de 40% de PCM nas argamassas originou um aumento na absorção de água por imersão superior a 14%. Contudo a

incorporação de 1% de fibras permitiu originar uma diminuição na absorção de água superior a 8%, com exceção das argamassas à base de cal hidráulica cujo valor não sofreu alteração. Foi também possível identificar que as argamassas à base de gesso e cal hidráulica são aquelas que possuem maiores valores de absorção de água por imersão. Por outro lado, as argamassas à base de cimento são as que possuem uma absorção de água por imersão inferior.

4.6. Gelo-degelo

A durabilidade de uma argamassa aos ciclos gelo-degelo encontra-se relacionada com a sua capacidade para absorver a água, a velocidade com que a absorção de água é realizada e também com o facto de a argamassa possuir uma estrutura porosa e que seja capaz de resistir à tensão provocada pelo aumento de volume da água quando passa ao estado sólido. Assim, os ensaios cíclicos de gelo-degelo possuem um papel extramente importante e decisivo na durabilidade das argamassas.

Estes testes consistem em submeter os elementos de ensaio a ciclos de temperaturas positivas e negativas. Sendo que, quando se verificam temperaturas negativas, a água que se encontra no interior da argamassa congela e conseqüentemente aumenta de volume (“gelo”). Se os poros das argamassas não se encontrarem saturados, os problemas que podem surgir são mínimos, uma vez que a água congelada é inferior ao volume dos poros. Contudo, no caso dos poros se encontrarem saturados, ou quase saturados, o aumento de volume resultante da congelação dá origem a pressões exercidas nas paredes dos poros ou seja na microestrutura das argamassas, podendo originar fissuração e até mesmo a destruição parcial do elemento em análise. No processo de descongelação (“degelo”) a quantidade de água que anteriormente foi cristalizada retoma o seu volume inicial. No decorrer deste processo podem ocorrer duas situações distintas, sendo estas a secagem parcial ou total do elemento de ensaio devido à mudança de fase para o estado de vapor e a absorção de uma nova quantidade de água por capilaridade.

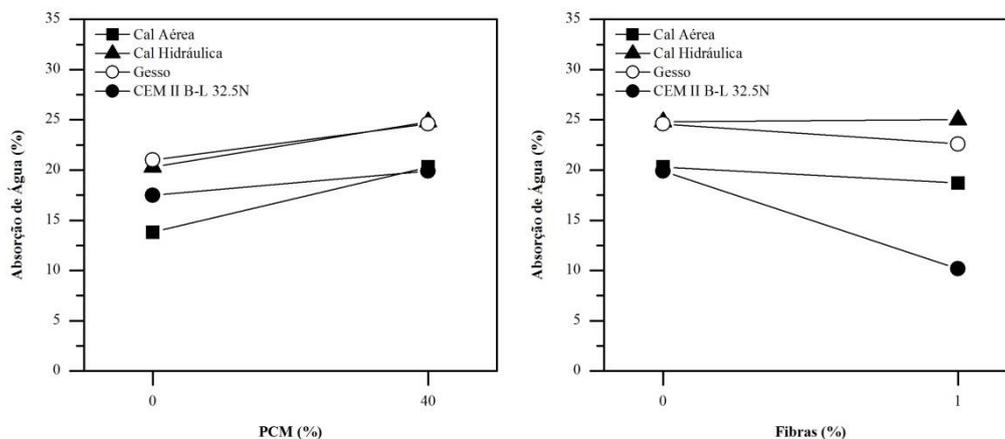


Figura 6. Absorção de água por imersão.

A determinação do comportamento das argamassas a ciclos gelo-degelo foi avaliada com base na especificação europeia CEN/TS 12390-9 [10].

O equipamento utilizado para a realização dos ensaios, foi programado com uma lei de temperaturas em que cada ciclo de gelo-degelo teve uma duração de 24h, tendo sido realizados um total de 56 ciclos. Durante cada ciclo de gelo-degelo a temperatura variou entre os 24°C e os -18°C.

Com o intuito de contabilizar a perda de massa de cada provete, estes foram colocados individualmente em recipientes capazes de conter as suas perdas de massa, resultantes da degradação sofrida durante os ensaios. A quantificação da perda de massa dos provetes sujeitos aos ciclos de temperatura foi realizada através da realização de sucessivas pesagens. Estas pesagens

foram feitas de acordo com um plano de pesagens previamente estabelecido, com início no primeiro ciclo gelo-degelo.

Os elementos de testes foram saturados e posteriormente submetidos aos ciclos de temperatura. Durante o ensaio cada provete foi colocado em contacto com uma lâmina de água, com o objetivo do provete absorver a água perdida por evaporação e também pela ventilação do próprio equipamento, garantindo-se desta forma que os poros dos provetes estariam sempre saturados. O equipamento foi também programado com uma humidade relativa constante de 90%, de forma a evitar grandes perdas de massa por evaporação da água.

De acordo com a Figura 7, foi possível observar o comportamento das argamassas durante os ciclos de gelo-degelo. Em geral, pode observar-se que as argamassas à base de cimento são aquelas que apresentam uma maior resistência à ação de gelo-degelo, uma vez que não apresentam uma perda significativa de massa. Por outro lado, as argamassas mais sensíveis face a este tipo de agressão são as argamassas à base de cal aérea, que revelaram uma perda total dos elementos de ensaio em apenas alguns ciclos.

Foi possível observar que a incorporação de material de mudança de fase, em geral conduziu a maiores perdas de material durante a ação do gelo-degelo, demonstrando-se desta forma que a incorporação de PCM torna as argamassas mais suscetíveis de serem atacadas. Este comportamento encontra-se relacionado com a facilidade que os agentes agressores possuem em penetrar na argamassa e que pode ser comprovado pelo aumento da porosidade com a incorporação de PCM. Por outro lado, a incorporação de fibras permitiu em todas as argamassas testadas observar uma menor perda de massa, ou seja uma maior resistência à passagem dos agentes agressores, o que mais uma vez é comprovado pela diminuição da porosidade presente nas argamassas provocada pela introdução das fibras de poliamida.

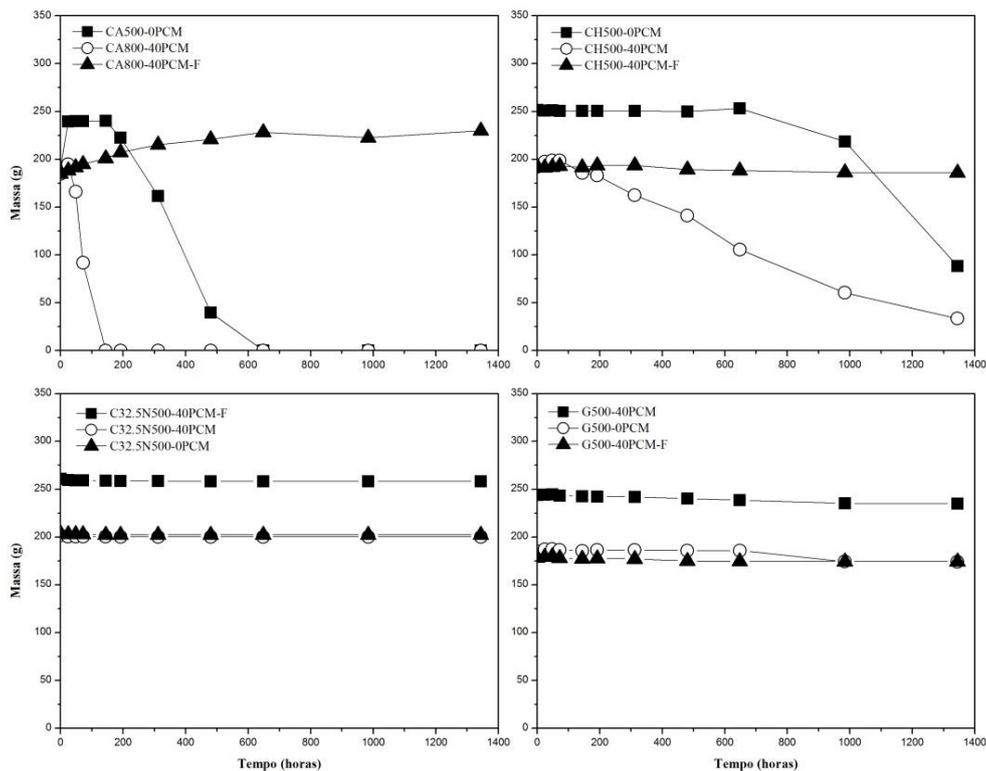


Figura 7. Perda de massa durante o ensaio de gelo-degelo.

5. CONCLUSÃO

A realização desta investigação permitiu concluir que a incorporação de material de mudança de fase em argamassas para revestimento no interior dos edifícios provoca alterações significativas nas suas propriedades no estado fresco e endurecido, assim como na sua durabilidade.

No que respeita à trabalhabilidade verificou-se que a incorporação de PCM provocou um aumento na quantidade de água necessária a adicionar à argamassa de forma a conferir uma trabalhabilidade adequada. Este aumento na razão água/ligante encontra-se relacionado com a finura característica do PCM, necessitando a argamassa de mais água de forma a obter uma pasta homogénea. Por outro lado, no estudo das resistências mecânicas (resistência à flexão, resistência à compressão e aderência) foi possível evidenciar uma diminuição das mesmas com a incorporação de PCM. Este fenómeno é uma consequência da presença de uma maior quantidade de água, sendo que origina uma maior porosidade nas argamassas, levando à diminuição da sua resistência mecânica.

A incorporação de material de mudança de fase afeta a durabilidade das argamassas desenvolvidas. Com base nos ensaios de absorção de água por imersão foi possível observar que a incorporação de 40% de PCM, originou um incremento na porosidade das argamassas. Este aumento originou também uma maior sensibilidade de afetação no ensaio de gelo-degelo. Contudo, esta facilidade de penetração dos agentes agressores pode ser diminuída pela incorporação de 1% de fibras de poliamida. Este comportamento foi possível identificar com base nos resultados dos ensaios de absorção de água por imersão, tendo originado uma diminuição da porosidade presente nas argamassas e por consequência menores perdas de material quando os elementos foram sujeitos aos ensaios de gelo-degelo.

Relativamente aos ensaios de durabilidade foi ainda possível observar que as argamassas à base de cimento são aquelas que possuem uma menor sensibilidade às ações gelo-degelo e menor porosidade, tendo conseqüentemente um melhor comportamento. Por outro lado, as argamassas de cal aérea são aquelas cuja deterioração sofrida nos ensaios de gelo-degelo é superior, apresentando desta forma um comportamento mais sensível face aos agentes agressores.

Desta forma, é possível concluir que a incorporação de PCM nas argamassas pode ser realizada com sucesso. Por outro lado, as alterações verificadas nas argamassas podem ser contornadas através da incorporação de uma maior dosagem de ligante, superplastificante e até mesmo a inclusão de fibras para a solução de problemas relacionados com uma elevada retração. Todos estes procedimentos podem ser realizados dotando as argamassas de uma trabalhabilidade adequada à indústria da construção, assim como obtendo um aspeto final em tudo semelhante às argamassas tradicionais. Desta forma é possível concluir que a entrada no mercado deste tipo de argamassas será bem recebida pelos profissionais da área e também pelos utilizadores, uma vez que é possível obter uma solução construtiva funcional e com grande capacidade de adaptação aos edifícios novos e também em operações de reabilitação.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Diamanti, M. Ormellese e M. Pedferri, "Characterization of photocatalytic and superhydrophilic properties of mortars containing titanium dioxide" *Cement and Concrete Research*, vol. 38, pp. 1349–1353, 2008.
- [2] A. Camões, "Betões de elevado desempenho com incorporação de cinzas volantes", Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2002.
- [3] S. Cunha, V. Alves, J. Aguiar e V. FERREIRA, "Use of phase change materials microcapsules in aerial lime and gypsum mortars" *Cement Wapno Beton*, Special Issue, pp. 17-21, 2012.
- [4] S. Cunha, J. Aguiar, M. Kheradmand, L. Bragança e V. FERREIRA, "Thermal mortars with incorporation of PCM microcapsules" *Restoration of Buildings and Monuments*, vol. 19, pp. 171-177, 2013.

- [5] S. Cunha, J. Aguiar, V. FERREIRA e A. Tadeu, "Influence of Adding Encapsulated Phase Change Materials in Aerial Lime based Mortars" *Advanced Materials Research*, vol. 687, pp. 255-261, 2013.
- [6] European Committee for Standardization (CEN), EN 1015-11, "Methods of test for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar", 1999.
- [7] European Committee for Standardization (CEN), EN 1015-12, "Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates", 2000.
- [8] European Committee for Standardization (CEN), EN 1015-18, "Methods of test for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar", 2002.
- [9] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Especificação E 394, "Betões – Determinação da absorção de água por imersão", 1993.
- [10] European Committee for Standardization (CEN), CEN/TS 12390-9, "Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance", 2006.
- [11] 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)", 1999.
- [12] Instituto Português da Qualidade (IPQ), NP EN 998-1, "Especificações de argamassas para alvenarias – Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores", 2010.