

Estudo Experimental de Soluções de Reabilitação Térmica

**Paulo A. M.
Moradias**

Pedro D. Silva

**João Castro
Gomes**

C-MADE, Centro
de Materiais e
Tecnologias da
Construção,
Universidade da
Beira Interior
stomas@ipcb.pt

As habitações rurais são, em geral, constituídas com materiais tradicionais, pedra e madeira, e apresentam um fraco comportamento térmico e higrométrico. Por outro lado, este tipo de habitação encontra-se em geral degradado, tornando-se necessário estudar soluções para reabilitar coberturas (estruturas de madeira), paredes (alvenaria de pedra) e pavimentos (madeira), melhorando a sua impermeabilização e conforto térmico, bem como, estudar metodologias adequadas para a reabilitação de construções com as características indicadas.

Neste trabalho foi efetuado um estudo experimental para avaliar a influência de algumas soluções construtivas, no aumento da resistência térmica de paredes de alvenaria de pedra. O estudo decorreu em câmara climática, no qual se mediram as variações de temperatura e humidade que ocorrem numa parede de alvenaria de pedra, para algumas das soluções testadas previamente com o software Condensa.

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho, contribuem para um maior conhecimento do comportamento termo-higrométrico de paredes de alvenaria de pedra, quando a reabilitação térmica é feita pelo seu interior e utilizando soluções construtivas que minimizam os riscos de condensação superficial.

Introdução

Os censos 2001 mostram que o índice de envelhecimento dos edifícios em Portugal é preocupante. O parque mais envelhecido está localizado no interior do país e nos centros históricos. A situação é mais evidente na região da Beira Interior (Norte e Sul), e Cova da Beira, onde predominam habitações envelhecidas, em zonas rurais, com apenas um único aglomerado.

As habitações rurais são em geral constituídas com materiais tradicionais, pedra e madeira, e têm um mau comportamento térmico e higrométrico. Como tal, é necessário reabilitar coberturas (estruturas de madeira), paredes (alvenaria de pedra) e pavimentos (madeira), destas habitações, melhorando a sua impermeabilização e conforto térmico.

Torna-se também necessário investir na procura de metodologias para a reabilitação de construções com as características indicadas. Estudar novas soluções para melhoria de condições de habitabilidade, incidindo particularmente

nos parâmetros térmicos e higrométricos e procurar soluções que respeitem a integração arquitectónica das habitações e a tradição dos materiais a aplicar e que, simultaneamente, possuam maior eficiência energética. O investimento na construção de novos edifícios em Portugal, não tem sido acompanhado por esforço equivalente no mercado da reabilitação, originando a crescente degradação de construções habitacionais (1). Portugal é no contexto europeu, o país que menos investe na reabilitação e conservação de edifícios.

Em 1995 o investimento em reabilitação era de apenas 6%, contra 29% em habitações novas (2). Em 2003 esse valor do investimento reduziu-se para 5,6% (3). A nível europeu, 50% do investimento na área da construção destina-se ao mercado da reabilitação e conservação, num universo estimado de 145 milhões de alojamentos residenciais na Europa Ocidental (1). Os dados de 2004, também indicam uma quebra no investimento a nível europeu para apenas 33% (3). Os dados referentes a Portugal Continental indicam a existência de quase 5 milhões de alojamentos, sendo que uma percentagem significativa corresponde a habitações unifamiliares (86.9%).

O parque habitacional da região da Cova da Beira, localizada na Região Centro de Portugal Continental, e que compreende os concelhos de Belmonte, Covilhã e Fundão, representa, segundo os dados dos Censos 2001, 55.853 alojamentos, para 41.249 edifícios, o que denota um número significativo de construções com apenas um alojamento, mais concretamente 36214, dos quais 33840 exclusivamente residenciais, de onde se obtém uma percentagem de 87.8%, apenas ligeiramente superior a outros valores obtidos na Região Centro como o Pinhal

Interior Sul com 97.1% (1). Noutros países estes valores são substancialmente mais baixos: na Alemanha com 56%; Espanha com 33.3%; França com 69.1%, ou Itália com 45.5% de habitação unifamiliar (1).

Acresce ainda que em Portugal Continental 43.2% das construções é anterior a 1970, das quais 20% são anteriores a 1945 (1). Em particular, na região da Cova da Beira verifica-se que 54.4% das construções são anteriores a 1970 e destas 21.5% são anteriores a 1945, e 8.1% anteriores a 1919. (4 a 10) Urge portanto tomar medidas no sentido de incrementar as intervenções em conservação e reabilitação de habitações, em particular das unifamiliares pelo universo que ocupam, de modo a evitar uma degradação profunda do parque habitacional existente.

Estas intervenções devem contudo obedecer aos requisitos térmicos exigidos pela nova regulamentação térmica que entrou recentemente em vigor. Esta nova regulamentação energética para os edifícios (RCCTE) (11), reflete preocupações no sentido de uma contabilização mais rigorosa de consumos de modo a permitir obter maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. O regulamento estabelece como condições ambiente de conforto de referência a temperatura do ar de 20°C e 25°C respectivamente para as estações de aquecimento e de arrefecimento.

Adicionalmente para a estação de arrefecimento é mencionado um valor de 50% de humidade relativa, como referência para as condições de conforto. Naturalmente, as condições de conforto interior envolvem mais parâmetros para além da humidade relativa e de temperatura, como por exemplo velocidade do ar, temperatura de superfícies, atividade e vestuário dos ocupantes, entre outros (e.g., 12).

Face ao exposto, torna-se necessário estudar novas soluções para melhoria de condições de habitabilidade das habitações rurais, incidindo particularmente nos parâmetros térmicos e higrométricos, procurando soluções que respeitem as características construtivas e arquitectónicas destas habitações, a manutenção do uso de materiais tradicionais, mas aumentando o seu conforto térmico indo ao encontro das exigências térmicas do novo RCCTE.

O propósito do presente trabalho é o de estudar, numérica e experimentalmente, soluções de reabilitação térmica de paredes exteriores de alvenaria de pedra de modo a avaliar a influência destas soluções construtivas na resistência térmica global do conjunto e melhorar o desempenho térmico do edifício intervencionado.

Assim, foram efetuados estudos de natureza numérica e experimental para avaliar a influência de algumas soluções construtivas, no aumento da resistência térmica de paredes de alvenaria de pedra.

O estudo numérico, realizado primeiro, foi conduzido com base no método de Glasser tendo como objetivo avaliar o risco de condensação para um conjunto alargado de combinações de diferentes materiais de isolamento térmico e de revestimento para acabamento, nomeadamente poliestireno extrudido, poliestireno expandido, espuma de poliuretano e aglomerado de cortiça – como materiais de isolamento térmico –, e madeira, gesso cartonado, tijolo furado, argamassa e estuque – como materiais de revestimento para acabamento.

Posteriormente, as soluções que apresentaram menor risco de condensação de acordo com o método de Glasser foram submetidas a ensaio em câmara climática (13).

Procedimento Experimental

Para proceder ao estudo experimental, construiu-se uma parede de alvenaria de pedra (granito), que foi submetida a ensaios no interior de uma câmara climática para as condições de isolamento e revestimento que ofereciam menor risco de condensação pelo método de Glasser (ver tabela 1).

As espessuras adoptadas para os elementos construtivos foram: alvenaria de granito, 50 cm; XPS, 2 cm; gesso cartonado, 2 cm; painel de madeira de pinho, 2 cm.



Figura 1 - Fase intermédia da construção da parede.

A parede de granito foi construída com 50cm de espessura com elementos de pedra irregular, de dimensões aproximadas de 70cm x 30cm x 50 cm, assentes em argamassa de cimento e cal típicos dos edifícios antigos existentes na região centro de Portugal.

A execução da parede foi efectuada numa moldura rectangular de 150cm x 120cm, com profundidade de 70cm e espessura de 19 cm (15 cm de XPS revestido em cada face por 2cm de MDF, ver figura 1), de modo a que as dimensões finais da parede ficassem ajustadas às dimensões da moldura. O conjunto é apresentado na figura 2 durante o processo de construção. Esta moldura corresponde ao corpo central de uma câmara climática.

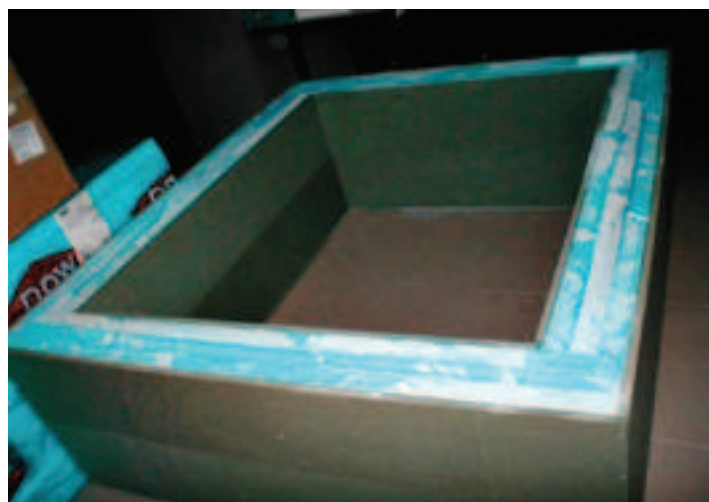


Figura 2 - Pormenor do interior do corpo central da câmara de ensaio

Tabela 1. Combinações de isolamento e revestimento seleccionadas

Combinação	Constituição
0	Alvenaria de granito
1	Alvenaria de granito + XPS + gesso cartonado
2	Alvenaria de granito + XPS + gesso cartonado + tinta plástica
3	Alvenaria de granito + XPS + painel de madeira de pinho
4	Alvenaria de granito + XPS + painel de madeira de pinho + verniz celuloso

Esta câmara é constituída por duas meias câmaras, com dimensões interiores de 1,5x1,2x1,0 m³, onde se reproduzem as condições climáticas relativas ao ambiente exterior e ao ambiente interior de um edifício. As meias câmaras encontram-se ligadas a dois sistemas independentes de climatização, que permitem controlar, individualmente, a temperatura, a humidade e a velocidade do ar. As condições impostas são monitorizadas em tempo real através de um sistema de aquisição dedicado. As paredes da câmara, tal como as da moldura, são constituídas por 15 cm de XPS, estando este material confinado lateralmente por painéis de MDF, com 2 cm de espessura. O aspeto final do conjunto é mostrado na figura 3.



20

Figura 3 - Pormenor da câmara de climatização do Laboratório de Transmissão de Calor da UBI.

Para avaliar a resistência térmica e higrométrica da parede de pedra isoladamente e da parede de pedra com as soluções de isolamento e revestimento resultantes das diferentes combinações, foram criadas condições em câmara climática para a ocorrência simultânea do transporte de calor e massa através das mesmas. Assim, foram produzidos dois ambientes diferentes em cada face da parede. A face interior da parede, com revestimento,

foi submetida a uma temperatura de 30°C e uma humidade relativa de 60%. A face exterior da parede esteve sujeita a temperaturas que variaram entre 18°C e 21°C sempre com uma humidade relativa inferior a 50%.

Para a medição de parâmetros durante os ensaios, durante o processo de construção da parede, foram colocados no seu interior sensores para medição da temperatura (termopar tipo T) e da humidade (sensor Hygroclip). Para o posicionamento da sonda de humidade, foram realizados dois furos realizados com 46 cm a partir da face exterior da parede, ficando deste modo os sensores colocados a 4 cm da face interior da parede.

As figuras 4 e 5 ilustram as posições dos diferentes sensores. A informação proveniente dos sensores foi registada em tempo real em PC.

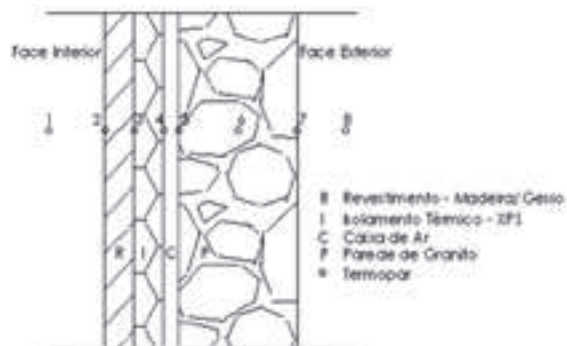


Figura 4 - Corte da parede com localização esquemática dos termopares

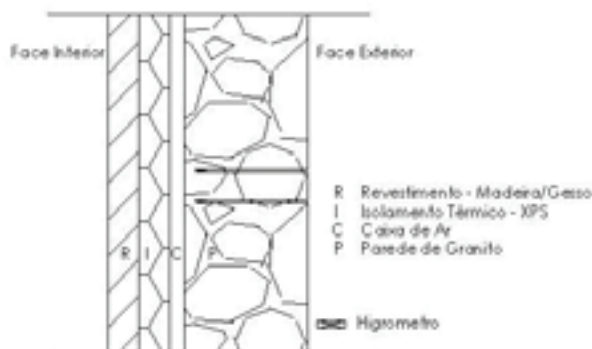


Figura 5 - Corte da parede com localização esquemática dos higrómetros

Após um período de sessenta dias para estabilização da parede, procederam-se a ciclos de ensaio que tiveram como padrão um período de humidificação de sete dias seguido por um período com a mesma duração mas exclusivamente com ventilação.

4. Resultados e Discussão

Apresentam-se de seguida os resultados para cada combinação estudada, ao longo dos dias de ensaio. Apresentam-se também as medições de humidade no interior da parede de pedra (a 4 cm da superfície interior), ao longo do mesmo período de ensaio. Os registos das temperaturas mostram a sua variação desde o tempo 0 (ou dia 0), momento em que se inicia o ciclo de humidificação da parede, até ao tempo 7 (ou dia 7), momento em que o mesmo ciclo termina.

As figuras 6 a 9, traduzem os diferentes comportamentos, dos diversos materiais que compõem cada uma das combinações, ao longo do período de ensaio. Em abcissas indica-se a numeração dos termopares de acordo com o posicionamento ilustrado na figura 4, e em ordenadas é representada a diferença entre a temperatura local e a temperatura observada no primeiro termopar (temperatura ambiente no interior da câmara climática, ver figura 4).

Nas figuras pode observar-se de forma clara a localização do material termicamente mais isolante, o poliestireno extrudado, XPS, que se encontra entre os termopares 3 e 4. Por outro lado, os materiais aplicados como revestimento – o gesso cartonado e o pinho folheado – apresentam uma reduzida contribuição na atenuação da temperatura, embora o comportamento deste último seja superior em relação

ao primeiro. Observa-se também a contribuição da alvenaria de granito, localizada entre os termopares 5 e 7, e a respectiva variação dos valores da temperatura, função da sua inércia. O diferencial entre os valores de temperatura interior/exterior, situa-se entre os 5,0 °C, para a combinação 2 (alvenaria de granito, XPS, gesso cartonado, tinta), e os 7,4 °C, combinação 3 (alvenaria, XPS, pinho folheado).

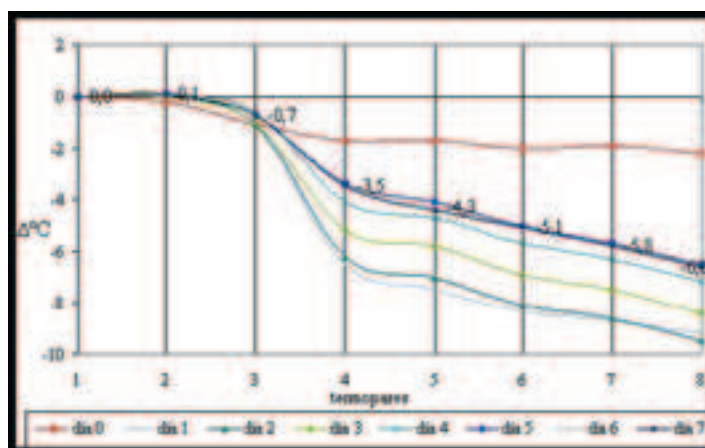


Figura 6 - Diferencial de temperaturas entre camadas, ao longo do período de ensaio; Combinação 1: alvenaria de granito + XPS + gesso cartonado

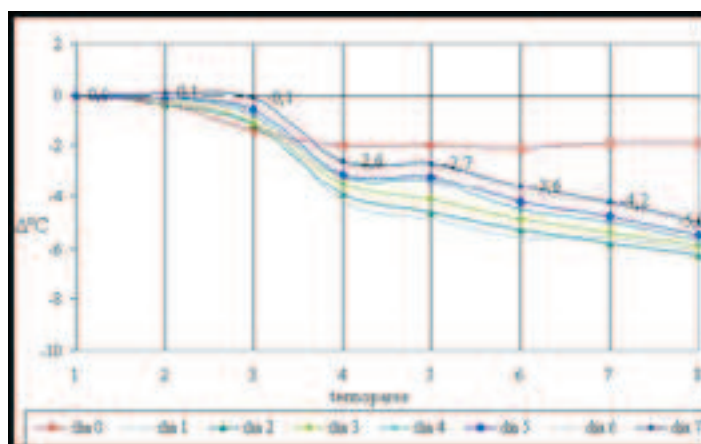


Figura 7 - Diferencial de temperaturas entre camadas, ao longo do período de ensaio; Combinação 2: alvenaria de granito + XPS + gesso cartonado + tinta.

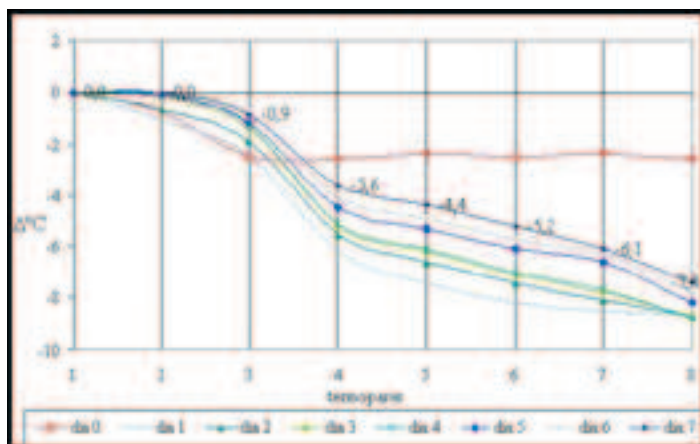


Figura 8 - Diferencial de temperaturas entre camadas, ao longo do período de ensaio; Combinação 3: alvenaria de granito + XPS + pinho folheado.

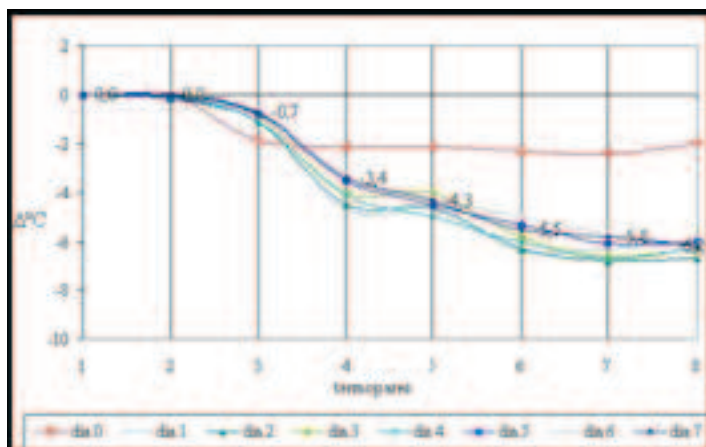


Figura 9 - Diferencial de temperaturas entre camadas, ao longo do período de ensaio; Combinação 4: alvenaria de granito + XPS + pinho folheado + verniz.

Para se poder comparar o diferencial de temperaturas entre as camadas de materiais de cada combinação estudada é necessário normalizar os resultados obtidos, em cada combinação, para uma diferença de temperaturas unitária. As figuras 10 e 11 mostram esse valores normalizados da evolução da temperatura em cada combinação ao longo da parede para três dias diferentes.

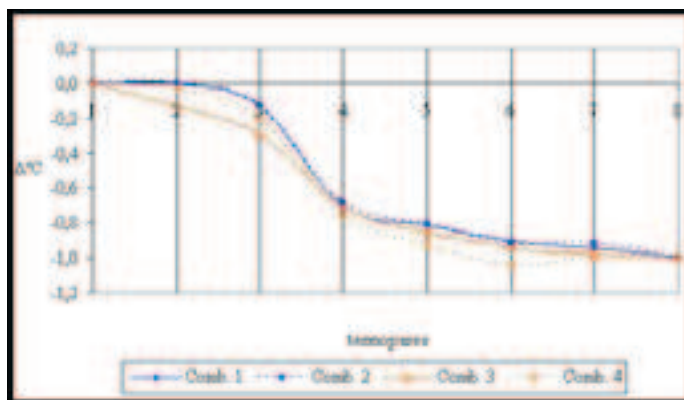


Figura 10. Diferencial de temperaturas para uma diferença de temperatura unitária, no primeiro dia de ensaio, para as combinações estudadas

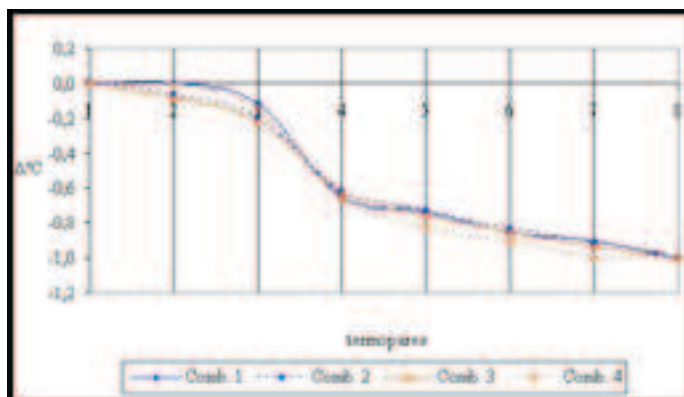


Figura 11. Diferencial de temperaturas para uma diferença de temperatura unitária, no segundo dia de ensaio, para as combinações estudadas

Estas figuras permitem analisar a influência dos materiais das diferentes camadas ao longo do período de ensaio. De facto, verifica-se que no primeiro dia de ensaio parece haver mais contributo para a resistência térmica da camada de pinho folheado relativamente à camada de gesso cartonado, uma vez que a diferença de temperaturas entre o termopar 2 e 3 é menor neste segundo caso.

Esta diferença pode explicar-se pelo facto da madeira de pinho folheado ter menor condutibilidade térmica que o gesso

cartonado. No entanto, na combinação 4, que corresponde à madeira de pinho com verniz já não se verificou uma diferença de temperatura tão acentuada como na situação da combinação 2, com a madeira sem verniz. Tal pode dever-se ao aumento ligeiro da condutibilidade térmica da madeira após ter sido pintada com verniz. Verifica-se ainda que a diferença de temperatura entre o termopar 1 e o termopar 4 (entre o ar interior e o isolamento térmico), no primeiro dia de ensaio, é praticamente igual para as diferentes combinações estudadas, evidenciando o forte contributo do isolamento térmico na redução da temperatura.

Em relação à evolução da humidade relativa da parede ao longo dos dias de ensaio, apresenta-se na figura 12 o seu diferencial face às condições de início de ensaio, para cada uma das combinações estudadas.

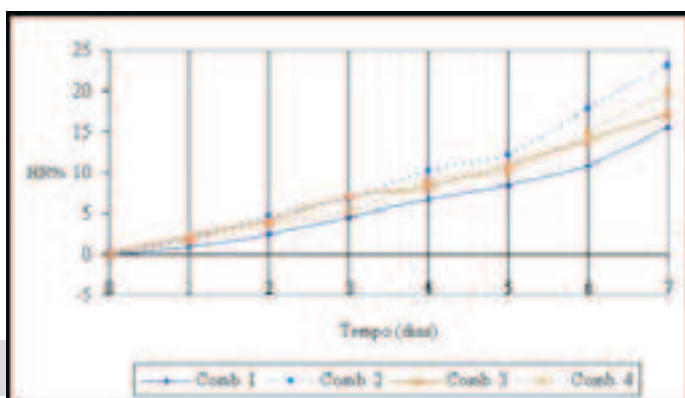


Figura 12 - Diferencial de Humidade Relativa entre o início e fim do ciclo de ensaio; comparação entre todas as combinações.

A análise da figura permite verificar nos primeiros dias de ensaio o aumento da humidade relativa é semelhante para as várias combinações estudadas. No entanto, ao longo do período de ensaio, acentuou-se a diferença relativa de aumento de humidade uma vez que as condições iniciais de ensaio foram diferentes. Ou seja, este diferencial de

humidade relativa no final do ensaio deve-se apenas à diferença de humidades relativas no interior da câmara e no exterior, que não foi igual em todos os casos estudados e, por isso, não depende diretamente dos materiais das camadas propriamente ditos.

Sendo assim, para se poder comparar o diferencial de humidade entre as camadas de materiais de cada combinação estudada foram normalizados os resultados obtidos, em cada combinação, para uma diferença de humidade unitária, tal como no caso das temperaturas, conforme se apresenta na figura 13.

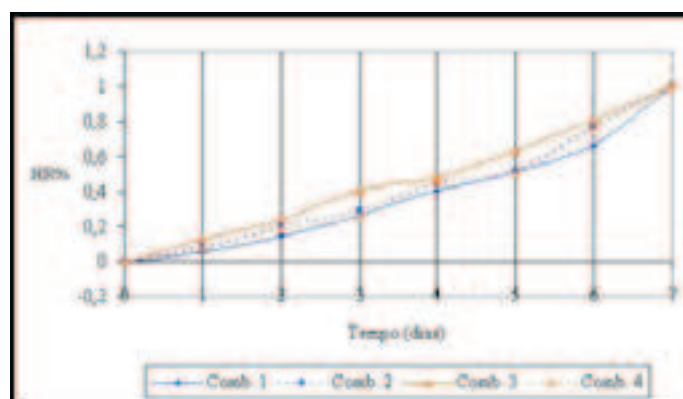


Figura 13 - Diferencial de Humidade Relativa para uma diferença de humidade relativa unitária no sétimo dia de ensaio, para as combinações estudadas

Esta figura apresenta o gráfico normalizado (considerando uma diferença de humidade relativa unitária) do diferencial de humidades obtido, durante o período de ensaio, para as 4 combinações estudadas.

Verifica-se que desde o primeiro dia de ensaio que o gesso cartonado, sem pintura, apresenta maior aumento de humidade relativa do que os restantes materiais e a combinação com pinho é aquela que apresenta maior resistência ao aumento de humidade relativa até ao último dia de ensaio. As combinações

com tinta encontram-se numa posição intermédia em relação a este aspeto.

A diferença do aumento de humidade relativa unitária entre a combinação com gesso cartonado e a combinação com pinho está de acordo com o facto da permeabilidade média ao vapor do gesso cartonado ser superior à da madeira de pinho.

5. Conclusões

Como foi apresentado no início deste trabalho o objetivo principal do mesmo consistiu no estudo de soluções de reabilitação térmica de paredes exteriores de alvenaria de pedra. Foram efetuados estudos em câmara climática para avaliar a influência de algumas soluções construtivas, no aumento da resistência térmica de paredes de alvenaria de pedra e no risco de ocorrência de condensações superficiais.

Os resultados indicam que para um conjunto de soluções construtivas correntes, pode-se concluir que aquelas em que há menor risco de ocorrência de condensação são as que são constituídas por combinações de materiais das diferentes camadas com maior resistência térmica, nomeadamente, o isolamento térmico PEE/XPS e a madeira, de entre as diferentes combinações estudadas.

Este facto, de acordo com a análise realizada, pode dever-se pelo aumento da temperatura da superfície interior do isolamento térmico na caixa-de-ar, diminuindo por isso o risco de condensação nesta superfície, podendo a condensação ocorrer apenas na superfície interior da parede de pedra, em contacto com a caixa-de-ar. O estudo experimental permitiu também evidenciar a maior contribuição para a resistência térmica da madeira de pinho folheado relativamente ao gesso cartonado. Estando este aspeto de acordo com a condutibilidade térmica de cada um destes materiais. Verificou-se

ainda no decorrer do estudo o forte contributo do isolamento térmico na redução da temperatura, no decorrer dos diferentes ensaios realizados em câmara climática.

Os resultados obtidos experimentalmente em câmara climática confirmaram ainda que a combinação XPS com madeira oferece menor risco de condensação que a combinação XPS com gesso cartonado. Tendo em conta a necessidade de encontrar soluções otimizadas de reabilitação térmica de paredes de alvenaria de pedra com o mínimo risco de condensação estudar-se-á em breve o comportamento com combinações para outros tipos de materiais.

Referências Bibliográficas

- 1 - Castro-Gomes, J. P.; Lanzinha, J. C. G.; *"Recuperação de habitações rurais como contributo para a construção sustentável"*, Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2002.
- 2 - Abrantes, V.; Peixoto de Freitas, V.; Sousa M.; *"Reabilitação de edifícios - Estudo do comportamento e análise técnico-económica das soluções utilizadas nas obras de construção e reabilitação"*, IGAPHE, Lisboa, Portugal, 1999.
- 3 - *"O sector da habitação no ano 2003"*, Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação, Lisboa, Portugal, 2004.
- 4 - *"Censos 1940, Resultados provisórios: VIII recenseamento geral da população"*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1944.
- 5 - *"Censos 1950, Resultados provisórios: IX recenseamento geral da população"*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1952.
- 6 - *"Censos 1960, Resultados provisórios: X recenseamento geral da população"*, Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1963.

- 7 - "*Censos 1970, Resultados provisórios: XI recenseamento geral da população: I recenseamento geral da habitação*", Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1973.
- 8 - "*Censos 1981, Resultados provisórios: XII recenseamento geral da população: II recenseamento geral da habitação*", Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1983.
- 9 - "*Censos 1991, Resultados provisórios: XIII recenseamento geral da população: III recenseamento geral da habitação*", Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 1993.
- 10 - "*Censos 2001, Resultados provisórios: XIV recenseamento geral da população: I recenseamento geral da habitação*", Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, Portugal, 2002.
- 11 - Decreto-Lei nº 80/06 de 4 de Abril, "*Regulamento das características de comportamento técnico de edifícios*", Ministério das Obras Públicas, Lisboa, Portugal, 2006
- 12 - Oliveira Fernandes E.; Maldonado E.; "*Características do comportamento térmico dos edifícios*", INEGI, Lisboa, Portugal, 1990.
- 13 - Martins Moradas, Paulo A., "*Estudos de reabilitação térmica de paredes de alvenaria de pedra de habitações rurais*", Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2008.