

DESEMPENHO TÉRMICO DE VEDAÇÕES: ESTUDO COMPARATIVO COM BLOCOS DE EVA, TIJOLO CERÂMICO E GESSO ACARTONADO

Elisângela Pereira da Silva (1); Aluísio Braz de Melo (2); Ana Beatriz R. do E. Queiroga (3)

(1) Professora visitante do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Bolsista PRODOC/CAPES, elisangellapereira@yahoo.com.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil e Ambiental, alusiobmelo@hotmail.com

(3) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, Bolsista PIBIC/CNPQ –UFPB, anabeatrizqueiroga@yahoo.com.br

Universidade Federal de Paraíba, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas, CEP 58051-900, João Pessoa(PB)

RESUMO

As regiões com muita produção de calçados sofrem impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos durante a fabricação de palmilhas e solados. Pesquisas realizadas no Brasil tem demonstrado a viabilidade técnica para a reciclagem desses resíduos, especialmente o Etileno Acetato de Vinila (EVA), como agregado leve, na confecção de blocos cimentícios não estruturais (bloco EVA). Este artigo apresenta uma avaliação de desempenho térmico, a partir de medições da variação de temperatura, através de mini paredes (1 m²) construídas com componentes diferentes, entre eles vários tipos de blocos EVA (com dimensões e teor de EVA diferentes) e tijolos cerâmicos. Os ensaios foram realizados numa câmara térmica com dois espaços contíguos, um aquecido e outro refrigerado, cuja vedação entre eles é em gesso acartonado. As mini paredes avaliadas ocuparam parte dessa divisória de gesso acartonado, que também foi instrumentada para servir de comparação com as medições feitas nas mini paredes. Os dados experimentais indicam que os blocos EVA têm desempenho térmico superior aos tijolos cerâmicos. As análises complementares com cálculos de propriedades térmicas (transmitância, capacidade e atraso térmicos) dos componentes avaliados indicam que os blocos EVA com dimensões não convencionais têm desempenhos térmicos adequados para a maioria das regiões bioclimáticas brasileiras, se destacando com grande potencial para ser utilizado, sem função estrutural, em paredes externas leves dos edifícios. Os resultados obtidos contribuem para agregar valor aos blocos EVA propostos.

Palavras-chave: resíduos, bloco EVA, desempenho térmico, mini paredes.

ABSTRACT

Regions with lots of shoes production are subject environmental impacts arising from the generation of waste during the production of insoles and soles. Research conducted in Brazil has demonstrated the technical feasibility for the recycling of this waste, especially Ethylene Vinyl Acetate (EVA), as light aggregate, making non-structural plaster blocks. This paper presents a performance evaluation heat from measurements of the temperature variation through mini walls (1 m²) constructed with different components, including various types of EVA blocks (dimensions and with different concentrations of EVA) and ceramic bricks. The mini walls evaluated occupied part of the walls dividing the drywall, which was also instrumented to serve as compared with the measurements made by the mini walls. The experimental evidence indicate that the EVA blocks have thermal performance superior to ceramic bricks. The complementary analyzes with calculations of thermal properties (transmittance, thermal capacity and thermal lag) of the evaluated components indicate that EVA blocks with dimensions unconventional dimensions has thermal performance suitable for most Brazilian bioclimatic regions, standing out with great potential to be used without structural function in lightweight external walls of buildings. The results contribute to add value to block proposed EVA.

Key-words: waste; EVA block; thermal performance; small walls.

1. INTRODUÇÃO

O enorme déficit habitacional no Brasil e a grande geração de resíduos sólidos depositados no meio ambiente evidenciam a necessidade de novas técnicas que combinem sustentabilidade, conforto e baixo custo da produção para as construções. Dentre as indústrias geradoras, a de calçados, que utiliza EVA - Etileno Acetato de Vinila e a da construção civil, que explora cada vez mais os recursos naturais, são consideradas indústrias que geram grandes quantidades de resíduos sólidos.

Na indústria de calçados, durante a fabricação dos produtos, geram-se resíduos na forma de retalhos inevitáveis das placas expandidas de EVA para obtenção dos formatos pretendidos. Tais resíduos são apenas parcialmente (cerca de 20%) reaproveitados no próprio processo de produção, devido às limitações de suas características físicas. Por isso, a solução para um destino adequado desses resíduos tem sido alvo de preocupações, apesar da alternativa mais comum ser aquela de apenas aproveitar o seu potencial energético, quando o resíduo de EVA é utilizado para alimentar os fornos das indústrias de cimento. Por outro lado, sabe-se que tais resíduos têm grande potencial para serem empregados como agregados leves, em substituição aos agregados naturais na confecção de produtos alternativos. Segundo Garlet (1998), trata-se de um resíduo de baixa massa específica, grande capacidade de deformação, tem boas características acústicas e térmicas, é estável, inerte e não suscetível a fungos.

Na perspectiva de alternativas para o destino dos resíduos de EVA tem sido desenvolvida ampla pesquisa no Brasil com blocos contendo esse resíduo para uso em alvenarias não estrutural. Tais estudos buscam estabelecer a resistência à compressão mínima aceitável para os pré-moldados propostos. Segundo Polari Filho (2005), o melhor resultado que combina maior incorporação de EVA e menor consumo de cimento Portland na fabricação desses blocos não estruturais foi obtida com a dosagem 1:5 (em volume), com 60% de EVA substituindo os agregados naturais, alcançando uma resistência à compressão aos 28 dias para o bloco EVA igual a 1,3 MPa.

Para determinar o desempenho mecânico dos blocos EVA propostos foram realizadas também avaliações de cargas de ocupação e impactos nas paredes do protótipo construído com blocos EVA, através de vários ensaios (impactos de corpo mole e duro, solicitações transmitidas por fechamentos bruscos de porta e cargas provenientes de peça suspensa) que procuraram simular situações acidentais e normais de uso de uma edificação (DE MELO & LIMA FILHO, 2009). Os resultados demonstraram que o valor de 1,3 MPa para o bloco EVA proposto (sem função estrutural) é suficiente como resistência à compressão mínima, em função do bom desempenho das paredes ensaiadas.

A partir desses estudos que viabilizam a utilização do bloco EVA em alvenaria não estrutural, passa-se à necessidade de mensurar a possível melhoria relativa ao conforto térmico proporcionado por tal material. Portanto, torna-se importante caracterizar o desempenho térmico do bloco EVA proposto como componente não convencional. Este é o propósito da pesquisa que está em andamento e que tem gerado expectativa de que o componente contribuirá na eficiência energética das edificações, nas quais ele venha a ser utilizado.

O presente artigo apresenta resultados baseados em estudos comparativos entre sistemas de vedação compostos com blocos EVA propostos e tijolos cerâmicos, que são os componentes mais usuais nas alvenarias das construções na região. Os resultados obtidos são comparados também com o desempenho da vedação em gesso acartonado. Complementando a avaliação, cálculos de propriedades térmicas desses sistemas de vedação são feitos e comparados.

2. OBJETIVO

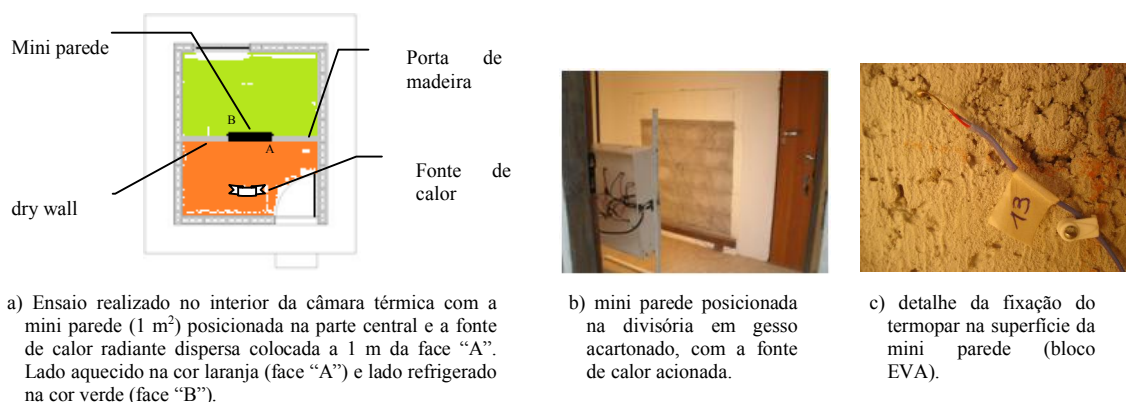
O objetivo das avaliações aqui relatadas é avançar nos estudos já consolidados com o bloco EVA proposto como componente não convencional, tendo em conta, nesta etapa, avaliar o seu desempenho térmico comparado ao tijolo cerâmico de oito furos e ao sistema de vedação em gesso acartonado.

3. MÉTODO

Os ensaios para verificação do comportamento térmico foram realizados com mini paredes (1 m²), no interior de uma câmara térmica (Figura 1). Essa câmara térmica dispõe de alguns controles para garantir isolamento entre as faces (exposta e oposta à fonte de calor) das mini paredes avaliadas. Para isso, a câmara é dividida em dois espaços, um aquecido e outro refrigerado, sendo parte da divisória de isolamento (construída em gesso acartonado com lâ de vidro no interior) entre eles a própria mini parede a ser avaliada. A instrumentação para medir a temperatura média ambiente no interior da câmara foi feita com a instalação de

dispositivos pendurados no forro de gesso, aleatoriamente em pontos descontraçados em relação aos planos vertical e horizontal, no volume dos dois ambientes contíguos.

Durante os ensaios utilizou-se como fonte de calor dispersa um dispositivo projetado especificamente para esse fim, composto de uma caixa metálica, contendo 12 lâmpadas (150 W), que totalizam 1.800W de potência, posicionada a uma distância de um metro (1 m) da mini parede.



a) Ensaio realizado no interior da câmara térmica com a mini parede (1 m²) posicionada na parte central e a fonte de calor radiante dispersa colocada a 1 m da face "A". Lado aquecido na cor laranja (face "A") e lado refrigerado na cor verde (face "B").

b) mini parede posicionada na divisória em gesso acartonado, com a fonte de calor acionada.

c) detalhe da fixação do termopar na superfície da mini parede (bloco EVA).

Figura 1- Ensaio para verificação da variação térmica entre as faces das mini paredes e entre a vedação em gesso acartonado.

Os controles adotados na câmara térmica têm como referência os estudos propostos por Bezerra (2003) e Silva (2007), que foram realizados em câmara semelhante, com a garantia de que as faces (exposta e oposta ao calor) das amostras em análise, ficaram submetidas às diferenças significativas de temperatura durante a coleta dos dados. O estudo realizado por Bezerra (2003) comparou o comportamento térmico entre paredes confeccionadas com blocos de concreto convencional, com tijolos cerâmicos (8 furos) e com bloco de concreto leve (com incorporação de EPS em diferentes proporções nas misturas). Como esperado, a maior diferença de temperatura média (25,3 °C) entre faces, exposta e oposta, foi observada para parede construída com os blocos com EPS, que era a amostra com a menor densidade (1.065 kg/m³).

Para a execução das mini paredes foram produzidos os blocos EVA (Figura 2) com as dimensões e teores de EVA apresentadas na Tabela 1. Na Figura 2 pode-se observar que os blocos EVA e o tijolo cerâmico têm vazios internos em tamanhos diferenciados (câmara de ar resultante da geometria dos componentes), sendo a contribuição no desempenho térmico devido ao volume de ar, que permanece aprisionado nos componentes, também diferenciada para cada mini parede.

Tabela 1- Identificação dos componentes utilizados na preparação das mini paredes.

Identificação	Dimensões comprimento x altura x largura (cm)	Teor de EVA (%)	Massa dos blocos (kg)	Componentes
EVA 60% 9	39 x 19 x 9	60	6,7	Blocos EVA
EVA 60% 14	39 x 19 x 14	60	9,0	
*EVA 60% 12,5	25 x 25 x 12,5	60	11,0	
*EVA 80% 12,5	25 x 25 x 12,5	80	7,0	
CER 9	19 x 19 x 9	-	2,5	Tijolo Cerâmico

* bloco EVA proposto com dimensões não convencionais; Fonte: Rocha (2008)

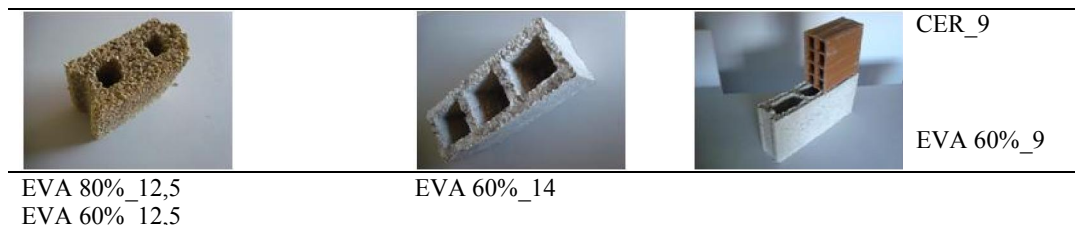


Figura 2 - Tipos de blocos EVA fabricados e tijolo cerâmico utilizados nos experimentos

Portanto, na análise dos dados, além das comparações entre os resultados obtidos com materiais diferentes (concreto EVA e tijolo cerâmico), foram também comparados os resultados obtidos entre os

blocos EVA, com geometrias e teores de EVA diferentes. Na Tabela 1 observa-se que além das dimensões, as massas dos componentes também são diferentes.

Para o experimento, duas mini paredes foram executadas com os blocos EVA 60% 9 e EVA 60% 14, que são componentes com dimensões convencionais e foram fabricados com dosagem 1:5 (cimento: agregados; em volume), sendo a proporção entre os agregados graúdos (EVA - $D_{\max}=9,5$ mm) e miúdos (areia - $D_{\max}=2,4$ mm) 60% e 40%, respectivamente. Outras duas mini paredes foram executadas com os blocos EVA 60% 12,5 e EVA 80% 12,5, estes com dimensões não convencionais, fabricados também com dosagem 1:5 (cimento: agregados; em volume), sendo as proporções entre os agregados graúdos e miúdos variáveis: um deles com 60% de EVA ($D_{\max}=9,5$ mm) e 40% de areia; e outro com 80% de EVA ($D_{\max}=9,5$ mm) e 20% de areia. O cimento Portland utilizado foi CP II F 32, adotando-se os controles de produção consolidados nas pesquisas anteriores (DE MELO & LIMA FILHO, 2009). A moldagem dos blocos EVA foi feita em máquina vibro-prensa semi automática. Após a sua moldagem eles foram levados para cura úmida ($UR>95\%$ e $T= 25$ °C), os quais permaneceram por 24 horas, sendo em seguida colocados em tanques de cura com água saturada com cal, até completarem 28 dias de idade, quando foram realizados os ensaios de resistência à compressão, a partir de cinco exemplares. Todos os tipos de blocos EVA tiveram valor médio de resistência à compressão maior do que 1,35 MPa.

Em seguida, com os restantes dos componentes fabricados foram construídas as mini paredes e adotou-se como regra realizar a instrumentação somente após três dias de sua execução (após a cura da argamassa de assentamento), através da colocação de sensores de temperaturas (termopares) diretamente na superfície dos blocos EVA (conforme Figura 1c). Considerando que os termopares permaneceram expostos à incidência da radiação direta, certamente os dados coletados foram influenciados por essa exposição às temperaturas bem distintas nos dois ambientes contíguos durante os ensaios, tornando pequenas as diferenças de comportamento entre as amostras avaliadas. De qualquer modo, as diferenças entre as temperaturas próximas às superfícies de cada face de cada mini parede ensaiada puderam ser percebidas, permitindo realizar comparações entre elas. A instrumentação das amostras se fez com dez termopares tipo T, compostos por fio cobre (+) e constatam (-), com bainha e isolante de plástico, e foi distribuída da seguinte forma: cinco termopares colocados na face exposta ao calor, de modo a ter um termopar central (n° 1) e quatro periféricos a 20 cm do perímetro do corpo de prova; outros cinco termopares foram colocados na face oposta em posições correspondentes (Figura 3).

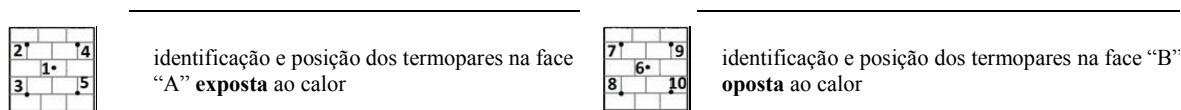


Figura 3 - Desenho esquemático do posicionamento dos termopares nas faces das mini paredes.

Para a colocação dos termopares nas superfícies das mini paredes foram utilizados fixadores para fio e logo após eles foram ligados a um sistema de aquisição de dados Datalogger Almemo 2890-9, o qual foi programado de maneira a capturar os valores das temperaturas a cada minuto. Estes foram sistematizados pela média aritmética por hora dos valores obtidos em cada minuto e apresentados por meio de gráficos de dispersão para vinte e quatro horas de duração de ensaio. Para a execução da mini parede, utilizando tijolo cerâmico (CER 9), os componentes foram adquiridos no mercado local. Para a divisória em gesso acartonado foram utilizados três termopares, dois localizados entre as mini paredes a 70 cm do piso e um colocado acima da mini parede a 40 cm desta. Tanto para os tijolos cerâmicos quanto para vedação em gesso acartonado foram adotados os mesmos procedimentos descritos anteriormente com respeito à instrumentação.

Na sistematização dos dados, consideram-se também as médias de temperaturas medidas nos cinco termopares, instalados em cada face das mini paredes, em função do tempo de exposição ao calor (24 horas), como também as médias dos três termopares utilizados no gesso acartonado. A partir desses dados foram determinadas as variações médias de temperatura entre as faces exposta e oposta de cada mini parede e da divisória em gesso acartonado. A temperatura média global para cada face das mini paredes e da vedação em gesso acartonado ensaiadas foi calculada sem considerar os dados registrados nas 4 primeiras horas de exposição ao calor, por ser um período nas quais as temperaturas nos termopares ainda estão variando muito até atingirem patamares mais definidos.

Para complementar a análise do desempenho do compósito utilizado na fabricação dos blocos EVA foram realizados ensaios de condutividade térmica, baseados na medição da resistência térmica pelo método fluxométrico, conforme a NBR 15220-5 (ABNT, 2005a). Com esse dado foram realizados cálculos para vários parâmetros (resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico) importantes para

caracterizar o desempenho dos componentes em análise, como previsto na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). O ensaio de condutividade térmica foi realizado no Condutivímetro K30, sendo as amostras em placas (300 mm x 300 mm x 30 mm) com os compósitos nas mesmas dosagens utilizadas na fabricação dos blocos EVA.

Considerando que o interesse da análise de desempenho das amostras avaliadas (blocos EVA e tijolo cerâmico) é para aplicação em paredes externas, as comparações realizadas com o sistema de vedação em gesso acartonado não parecem adequadas, mas servem para destacar as diferenças nos resultados obtidos, tanto nos ensaios na câmara térmica, quanto nos cálculos de propriedades térmica dos componentes.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Variação das mini paredes através de estudos experimentais

A Figura 4 apresenta os resultados para materiais diferentes e espessuras iguais dos componentes utilizados na execução das mini paredes. Neste gráfico, percebe-se que somente após as quatro primeiras horas a temperatura média na face exposta alcança um patamar aproximadamente igual a 40 °C, mantendo-se com pequenas variações durante as horas seguintes. Ao completar 24 horas de ensaio, as temperaturas médias nas faces expostas atingem o mesmo valor, 45 °C, e nas faces opostas atingem entre 24 °C e 23 °C, com blocos EVA 60% 9 e CER 9, respectivamente. As faces opostas ao calor mantiveram-se com temperatura de patamar mais estáveis próximo de 25 °C (CER 9) e 23 °C (EVA 60% 9), o que era esperado considerando que as mini paredes em análise ficaram em contato com o ambiente refrigerado da câmara de ensaio térmico.

Então, os resultados indicam que as mini paredes confeccionadas com ambos componentes apresentam desempenho térmico com pouca diferença. Ou seja, para a mesma espessura da mini parede (9 cm), ao se compararem os materiais diferentes dos componentes, tijolo cerâmico (CER 9) e bloco EVA 60% 9, tem-se um desempenho ligeiramente inferior para o tijolo cerâmico. Neste caso, deve-se considerar que os volumes da câmara de ar internamente aos componentes são diferentes e que o teor de 60% de EVA no bloco cimentício colabora no melhoramento de seu desempenho térmico.

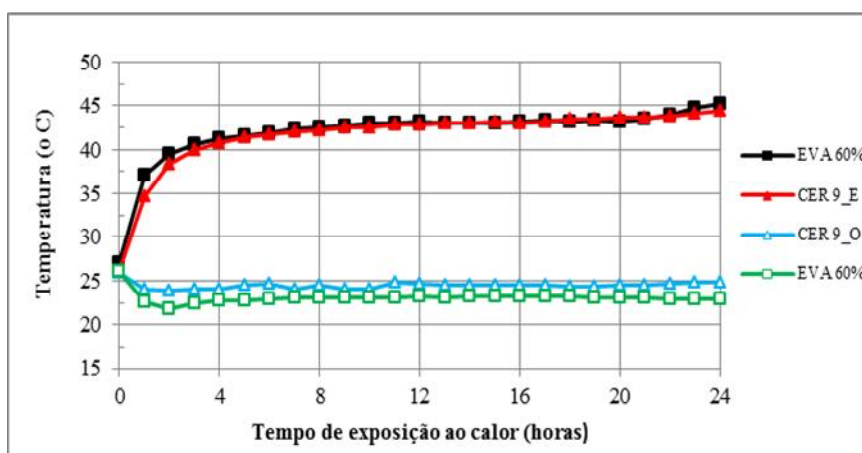


Figura 4 - Resultados obtidos com mini paredes com materiais diferentes e espessuras iguais.

Na Figura 5 apresentam-se as variações de temperaturas para todas mini paredes executadas com blocos EVA, considerando dimensões e teores de EVA diferentes. O comportamento padrão é o mesmo do caso anterior, quando só após as primeiras 4 horas de ensaio atinge-se uma temperatura de patamar, que é pouco variável conforme as amostras em análise.

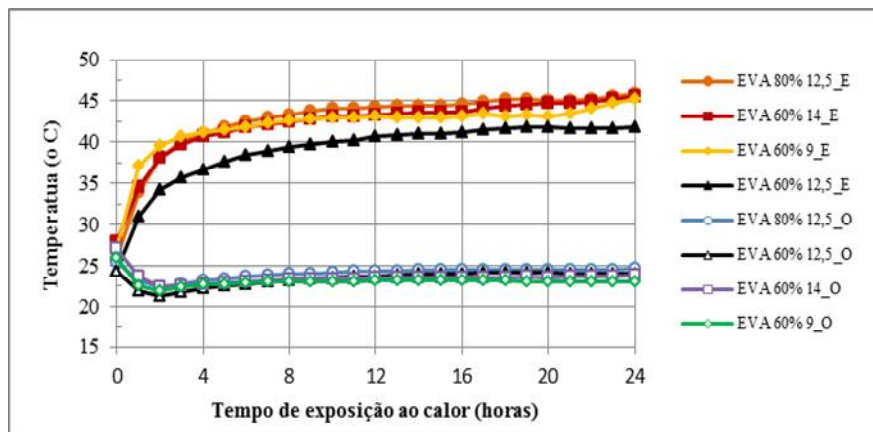


Figura 5 - Resultados obtidos com mini paredes com blocos de EVA com dimensões e teores de EVA diferentes.

Portanto, com base nestes resultados, as mini paredes identificadas por EVA 80% 12,5, EVA 60% 14 e EVA 60% 9 têm praticamente o mesmo desempenho do ponto de vista da resistência térmica, na medida em que resultaram na maior diferença entre as temperaturas das faces exposta e oposta ao calor, comparado com o outro corpo de prova (EVA 60% 12,5). Neste caso, pode-se deduzir que o maior teor de EVA presente no bloco 80% 12,5, de certa forma compensou a maior espessura do bloco EVA 60% 14, bem como as diferenças de tamanho entre os vazios de ar no interior dos componentes, que são maiores no bloco EVA 60% 14. Pode-se deduzir também que o maior teor de EVA presente no bloco 80% 12,5, de certa forma compensou o maior tamanho dos vazios de ar no interior do bloco EVA 60% 9.

Silva (2007) relata que a condutividade térmica do ar é menor que a matriz do material e, por isso, a capacidade de isolamento dos materiais é tanto maior quanto mais poroso forem, sendo o efeito da porosidade eficaz quando os poros são pequenos e fechados, minimizando a transmissão de calor por convecção no interior do material. Bénichou e Sultan (2005) concordam e destacam que a condutividade térmica é uma propriedade característica de cada material, sendo este valor influenciado pela porosidade (forma e dimensões dos poros). Analogamente, pode-se deduzir que os vazios de ar resultantes da geometria dos blocos e tijolos (câmaras de ar internamente aos componentes) assumem papel importante na comparação entre as mini paredes, tendo em vista a presença de diferentes volumes de ar internos por componente avaliado, e considerando ainda que o ar tem maior capacidade de isolamento térmico.

As comparações entre os resultados obtidos para as temperaturas médias globais também indicam que os blocos EVA 80% 12,5, EVA 60% 14 e EVA 60% 9 têm o mesmo desempenho (Tabela 2). Destaca-se ainda que as variações das temperaturas médias globais entre as faces das mini paredes com esses blocos (EVA 80% 12,5, EVA 60% 14 e EVA 60% 9) são superiores, cerca de 1,5 °C, quando comparado ao tijolo cerâmico. Mas, nessa análise deve-se considerar a diferença de espessura entre os componentes comparados (blocos EVA com 12,5 cm, 14 cm e 9 cm de espessura; tijolo cerâmico com 9 cm de espessura), além das diferenças entre os materiais e os volumes de ar no interior dos mesmos.

Tabela 2: Temperaturas médias globais (em °C) e suas variações, de acordo com cada face das mini paredes.

Face exposta	Face oposta	Varição de temperatura	Mini paredes ensaiadas
43,1	23,1	20,0	bloco EVA 60%_9
43,0	24,5	18,5	tijolos cerâmicos CER_9
43,6	23,5	20,1	bloco EVA 60%_14
40,6	23,7	16,9	bloco EVA 60%_12,5
44,3	24,3	20,0	bloco EVA 80%_12,5
44,6	20,7	23,9	gesso acartonado_13,5

Quando se comparam os blocos EVA 60% 12,5 e 80% 12,5, a diferença entre as temperaturas médias globais passou a ser 3,1 °C; então neste caso, destaca-se a influência do teor de EVA, considerando que os dois blocos têm a mesma espessura (12,5 cm) e mesmo volume de ar internamente (câmara de ar). Portanto, considerando que o bloco EVA 80% 12,5 apresentou maior capacidade de isolamento térmico do que o bloco EVA 60% 12,5, que ambos foram moldados com o mesmo agregado EVA ($D_{\text{máx}} = 9,5 \text{ mm}$) e que têm a mesma geometria, inclusive mesma espessura (12,5 cm), certamente a maior quantidade de EVA contribuiu para que o primeiro tenha maior porosidade, o que justifica o seu melhor desempenho térmico.

Vale destacar que o bloco EVA 80% 12,5 combina situações desfavoráveis e favoráveis ao seu desempenho térmico, tais como: tem uma nova geometria para o componente, com menor vazio no seu interior e menor volume de ar aprisionado; trata-se de um bloco cimentício com característica robusta, porém leve (7 kg); apenas com esse bloco utiliza-se maior teor de EVA (80%), que por ser agregado leve reduz a massa do bloco, e ainda assim consegue atender ao valor da resistência à compressão maior que 1,2 MPa, que é o valor limite sugerido por De Melo & Lima Filho (2009).

Como era esperado, a maior variação da temperatura média global entre as faces exposta e oposta ao calor obtida ocorreu para o sistema de vedação em gesso acartonado, 23,9 °C (Tabela 2), o que representa 7 °C de diferença quando comparado ao bloco EVA 60% 12,5.

Na Figura 6 são comparadas a mini parede de blocos EVA 60% 14 e a vedação em gesso acartonado (13,5 cm de espessura e presença de lã de vidro no interior), sendo neste caso considerados materiais diferentes com espessuras aproximadas. Para o gesso acartonado observou-se a mesma tendência dos blocos EVA, ou seja, após as primeiras quatro horas tem-se uma estabilização da temperatura em torno de 44 °C para a face exposta ao calor, enquanto que na face oposta a temperatura permaneceu em torno de 20 °C, ficando abaixo da temperatura média da mini parede com blocos EVA 60% 14.

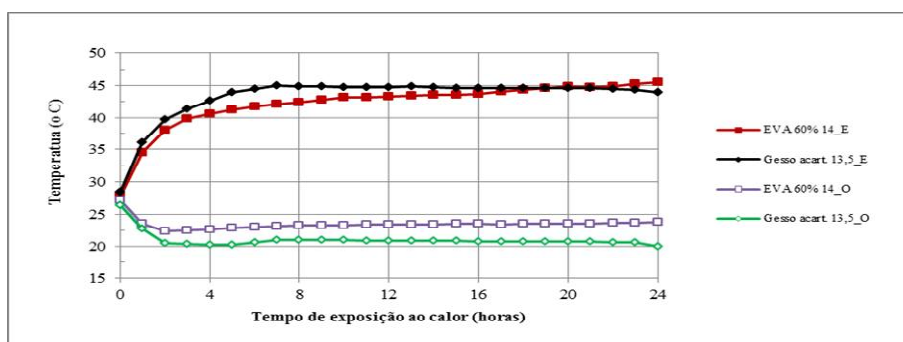


Figura 6 - Resultados obtidos com mini parede de bloco EVA 60% 14 e vedação em gesso acartonado.

4.2 - Análise complementar com cálculos para vários parâmetros térmicos

Os resultados dos ensaios de condutividade térmica para as amostras confeccionadas com composto cimentício, com EVA nas proporções 60% e 80%, foram 0,61 W/mK e 0,34 W/mK, respectivamente. Como esperado, destaca-se que quanto maior o teor de EVA, menor foi a condutividade térmica, o que é coerente com a afirmação de que essa propriedade é influenciada pela porosidade de cada material (BÉNICHOU & SULTAN, 2005; SILVA, 2007). Como visto anteriormente, o bloco EVA 80% 12,5 apresentou maior capacidade de isolamento térmico do que o bloco EVA 60% 12,5. Como os dois blocos têm a mesma geometria e mesma espessura (12,5 cm), certamente a maior quantidade de EVA (80% contra 60%) contribuiu para que o bloco EVA 80% 12,5 tenha maior quantidade de vazios na sua micro-estrutura interna, valendo-se do caráter poroso das próprias partículas de EVA. Ao associar esta análise ao resultado obtido para condutividade térmica, que foi menor para EVA 80% 12,5, isso pode explicar o melhor desempenho térmico verificado anteriormente para o bloco EVA 80% 12,5.

Os cálculos da resistência térmica, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico (NBR 15220-2, ABNT, 2005), são apresentados na Tabela 3 e são necessários para complementar as análises das propriedades térmicas dos componentes aplicáveis nas alvenarias das edificações.

Tabela 3 - Valores encontrados para Resistência Térmica total, Transmitância Térmica, Capacidade Térmica e Atraso Térmico para todos os blocos EVA e a vedação em gesso acartonado.

Amostras	Resistência Térmica total R_T ($m^2 \cdot K$)/W	Transmitância Térmica (U) W/($m^2 \cdot K$)	Capacidade Térmica (CT) kJ/($m^2 \cdot K$)	Atraso Térmico horas
EVA 60% 9	0,3735	2,68	64,63	2,1
EVA 60% 14	0,4043	2,47	66,68	2,2
EVA 60% 12,5	0,4064	2,46	144,07	3,6
EVA 80% 12,5	0,5524	1,81	116,71	4,2
Gesso acartonado 13,5	2,4622	0,37	22,62	3,7

Considerando que quanto maior é o valor de resistência térmica mais isolante é o material, ao comparar os resultados da Tabela 3 constata-se que o bloco EVA 80% 12,5 apresenta a maior resistência térmica, 0,5524 (m².K)/W, quando comparado aos demais blocos de EVA. Entretanto, a vedação em gesso acartonado apresenta a maior resistência térmica dentre todos, 2,4622 (m².K)/W, o que já era esperado, considerando que esse sistema representa a maior barreira à passagem de calor dentre os comparados.

Para a transmitância térmica, segundo a literatura, sabe-se que quanto menor for o valor dessa propriedade melhor será o desempenho térmico do componente, pois o fluxo de calor que passará por ele será menor. Então, os valores de Transmitância Térmica (U) na Tabela 3, indicam que os blocos EVA 80% 12,5 apresentam o menor valor, 1,81 W/(m².K), se comparado aos demais blocos de EVA. Mais uma vez, como é de se esperar a vedação em gesso acartonado apresenta o menor valor dentre todos, 0,37 W/(m².K).

O cálculo da capacidade térmica (C_T) obtido em função da espessura do componente, do calor específico e da densidade do material utilizado na fabricação do componente, resultou (Tabela 3) no maior valor, 144,07 kJ/(m².K), para o bloco EVA 60% 12,5. Esse resultado, de certa forma, é justificado pela maior massa (11 kg) desse componente comparado aos demais blocos EVA (Tabela 1). No caso do sistema de vedação com gesso acartonado, como esperado, obteve-se o menor valor para a capacidade térmica, 22,62 kJ/(m².K).

Para o último parâmetro analisado, atraso térmico, sabe-se que quanto maior ele for mais tempo levará para o ambiente atingir a temperatura externa. Ao observar os resultados para as várias amostras (Tabela 3), destaca-se que aquela calculada para o bloco EVA 80% 12,5 apresenta maior atraso térmico (4,2 horas).

Entretanto, nessa análise deve-se ter em conta que as edificações devem reunir características que atendam as exigências de desempenho térmico, considerando a região bioclimática de implantação da obra. Na norma brasileira NBR 15575-4 (ABNT, 2013) destacam-se os requisitos estabelecidos para desempenho térmico mínimo que devem ser atendidos para as paredes externas, em acordo com 8 (oito) regiões bioclimáticas. Nesta norma, para todas as regiões bioclimáticas são indicados valores a serem atendidos para capacidade térmica (C_T) maior ou igual a 130 kJ/(m².K) (exceto a Zona 8 que é sem exigência) e para transmitância térmica (U) menor ou igual a 2,5 W/(m².K) (quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede for maior do que 0,6).

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) além de estabelecer um zoneamento bioclimático brasileiro (8 zonas) abrange um conjunto de recomendações e estratégias construtivas para adequação climática das edificações com até 3 pavimentos. Entre tais recomendações, destacam-se basicamente duas delas, que se enquadra em 6 (seis) das regiões bioclimáticas:

1. para uso de paredes externas leves (3 regiões bioclimáticas), indicam-se transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,0 W/(m².K) e atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas;
2. para uso de paredes externas pesadas (com maior inércia térmica; 3 regiões bioclimáticas), indica-se transmitância térmica (U) menor ou igual a 2,2 W/(m².K) e atraso térmico maior ou igual a 6,5 horas.

Para uso em parede externa leve refletora (2 regiões bioclimáticas) indicam-se transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,6 W/(m².K) e atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas.

Considerando os requisitos da NBR 15575-4 (ABNT, 2013), o bloco EVA 60% 12,5 é o único que atende a capacidade térmica (C_T) maior que 130 kJ/(m².K), enquanto que apenas o bloco EVA 60% 9 não atende a transmitância térmica (U) menor ou igual a 2,5 W/(m².K). Ao considerar a NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), para a condição de paredes externas leves, todos os blocos EVA atendem as recomendações de transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,0 W/(m².K) e atraso térmico menor ou igual a 4,3 horas. Portanto, por atender às duas normas referidas, o bloco EVA 60% 12,5 tem maior potencial para ser utilizado nas paredes externas leves, inclusive aquelas leves refletoras, tendo em conta que ele se adequa às exigências de desempenho térmico mínimo para a maioria das regiões bioclimáticas brasileiras.

Na análise isolada a partir dos valores obtidos para as propriedades térmicas das amostras o bloco EVA 80% 12,5 se destaca com melhor desempenho. Porém, ao analisar os resultados segundo os requisitos de desempenho térmico mínimo das normas, NBR 15575-4 (ABNT, 2013) e da NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), o bloco EVA 60% 12,5, se destaca com maiores possibilidades de aplicação nas paredes externas dos edifícios em diversas regiões bioclimáticas brasileiras.

5. CONCLUSÕES

Os dados experimentais indicam que os blocos EVA têm desempenho térmico superior aos tijolos cerâmicos. Considerando os resultados satisfatórios obtidos, sobretudo para os blocos EVA com dimensões não convencionais (espessura de 12,5 cm), pode-se destacar que o potencial de aproveitamento dos resíduos de EVA para fabricação de blocos não estruturais é promissor, pela possibilidade que se vislumbra em agregar valor ao componente proposto pelo seu desempenho térmico medido nos experimentos realizados e nos cálculos complementares. Neste sentido, destacam-se alguns aspectos importantes para esse componente:

- o bloco EVA 60% 12,5 cm, que atende o requisito de desempenho mecânico para alvenaria não estrutural (estudos anteriores; DE MELO & LIMA FILHO, 2009) também atende os requisitos de desempenho térmico mínimo (capacidade térmica, transmitância térmica e atraso térmico) para a maioria das regiões bioclimáticas brasileiras, portanto ele se destaca com maior potencial para ser utilizado nas paredes externas leves.
- a geometria, a espessura e o tamanho do vazio de ar presente nos blocos EVA influenciam no desempenho térmico dos componentes, sendo também destacada a influência do teor de EVA, como ficou confirmado pelo desempenho do bloco EVA 80% com 12,5 cm de espessura;
- o vazio de ar no interior do bloco EVA com dimensão não convencional (espessura = 12,5 cm) é considerado pequeno, comparado aos outros blocos EVA, o que influencia no seu desempenho térmico, sugerindo que se deve realizar avaliações para alterar o projeto do componente, mantendo-se o equilíbrio entre leveza (com uso de 80% de EVA na composição do concreto), desempenho mecânico (resistência à compressão igual a 1,2 MPa) compatível para uso em alvenaria não estrutural e desempenho térmico adequado às regiões bioclimáticas brasileiras.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5/2005a**: Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro.

_____. **NBR 15220-2/2005b**: Desempenho Térmico das Edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes construtivos. Rio de Janeiro.

_____. **NBR 15575-4/2013**: Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações externas e internas SVVIE. Rio de Janeiro.

_____. **NBR 15220-3/2005c**. Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.

BÉNICHOU, N., SULTAN, M. A. (2005). Thermal properties of lightweight-framed construction components at elevated temperatures. **Fire and Material**, pp. 165-179.

BEZERRA, C. A. L. (2003). Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN. 64p.

DE MELO, A. B.; LIMA FILHO, M. R. F. (2009). Avaliação de desempenho estrutural de protótipo com paredes construídas com blocos EVA. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, out. /dez, v. 9, n. 4, p. 141 – 155.

GARLET, G. (1998). Aproveitamento de resíduos de EVA (ethylene vinyl acetate) como agregado para concreto leve na construção civil. **Dissertação de Mestrado**, UFRGS, Porto Alegre, 140p.

POLARI FILHO, R.S. (2005). Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA uma alternativa às alvenarias das construções. **Dissertação de Mestrado**. UFPB. João Pessoa, 89p.

ROCHA, F. M. D (2008). Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco EVA – inter travamento e racionalização das alvenarias. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 107p.

SILVA, C. M. R. L. (2007) Análise técnico/financeiro de paredes externas em panos simples. **Dissertação Mestrado**, Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. 185p.

AGRADECIMENTOS

Aos Laboratórios onde os ensaios têm sido realizados, pelo apoio (pessoal e equipamentos) na concretização dos estudos e a CAPES pelo auxílio financeiro, no âmbito do PRODOC, para a execução desta etapa da pesquisa.