

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE BLOCOS EVA

Elisângela Pereira da Silva<sup>(1)</sup>; Jéssika Elaine Mendes Cahino<sup>(2)</sup>; Aluísio Braz de Melo<sup>(3)</sup>

(1) PPGAU - UFPB, [elisangellapereira@yahoo.com.br](mailto:elisangellapereira@yahoo.com.br).

(2) PPGEUA – UFPB, [jessik\\_mendess@hotmail.com](mailto:jessik_mendess@hotmail.com).

(3) (PPGAU e PPGEUA – UFPB), [aluisiobmelo@hotmail.com](mailto:aluisiobmelo@hotmail.com).

### Resumo

*O crescimento da produção de calçados, em geral, é acompanhado do aumento na geração de resíduos (ex.: aparas de solados de sandálias; Etileno Acetato de Vinila - EVA). A reciclagem desses resíduos pode ser pensada como uma alternativa interessante para a sua incorporação em blocos cimentícios, sem função estrutural – bloco EVA. Estudos já realizados (DE MELO & LIMA FILHO, 2009) contemplam bons resultados, frente às cargas verticais e horizontais, nas avaliações dos referidos blocos, aplicados em alvenarias de protótipo construído em escala real e encorajaram a continuidade na experimentação, tendo em vista avançar na avaliação de desempenho térmico do componente proposto. Este artigo apresenta dados preliminares de uma pesquisa em curso, que tem como objetivo analisar o desempenho térmico dos blocos EVA propostos. Para isto, foram realizados experimentos (variação de temperatura, através de mini paredes) e cálculos (parâmetros térmicos - NBR 15220-2/2005) para a verificação comparativa do desempenho térmico de vários componentes de vedação. Os resultados indicam desempenho semelhante entre os tijolos cerâmicos e os blocos EVA, com mesmas espessuras. Tanto a geometria do componente quanto o percentual de EVA incorporado nos blocos EVA são aspectos que influenciam no seu desempenho térmico. Entretanto, o teor de EVA é mais importante no desempenho do bloco EVA. Os resultados obtidos contribuem para agregar valor ao componente proposto, considerando que a maior capacidade de isolamento térmico foi obtida com um tipo de bloco EVA avaliado.*

**Palavras-chave:** resíduo EVA, blocos, desempenho térmico.

### Abstract

*The growth in footwear production is usually followed by an increase in waste generation (eg cuttings of sandals soles, Ethylene Vinyl Acetate - EVA). The recycling of these wastes can be thought of as an interesting alternative for incorporation into cement blocks, without structural function - EVA block. Previous studies (DE MELO & LIMA FILHO, 2009) showed good results, related to the vertical and horizontal loads on the evaluations of the referred blocks, applied to full-scale built prototype masonry and encouraged to continue the studies in order to improve the thermal performance evaluation of the proposed component. This article presents preliminary data from an ongoing research, which aims to analyze the thermal performance of the proposed EVA blocks. For this, experiments have been performed (variation in temperature through mini walls) and calculations (thermal parameters – NBR 15220-2/2005) for the comparative verification of the thermal performance related to several sealing components. The results indicate similar performance between the ceramic bricks and EVA blocks, with same thickness. Both the geometry of the component and the EVA embedded percentage in EVA blocks are aspects that influence its thermal performance. However, the EVA content is more important in EVA blocks performance. The obtained results contribute to add value to the proposed component, considering the greater thermal insulation capability was obtained with one type EVA block evaluated.*

**Keywords:** waste EVA, blocks, thermal performance.

## 1. INTRODUÇÃO

O enorme déficit habitacional no Brasil e a grande geração de resíduos sólidos depositados no meio ambiente evidencia a necessidade de novas técnicas que combinem sustentabilidade, conforto ambiental, baixo custo etc. nos projetos arquitetônicos. Dentre as indústrias, a de calçados, que utiliza o Etileno Acetato de Vinila (EVA) e a da construção civil, que explora cada vez mais os recursos naturais, são consideradas indústrias que geram grandes quantidades de resíduos sólidos nos ambientes urbanos.

Por exemplo, 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, pensar num destino adequado para esses resíduos é importante, apesar da alternativa mais comum ser aquela de apenas aproveitar o seu potencial energético, quando ele 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 desenvolvido uma ampla pesquisa com blocos EVA para uso em alvenarias. 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 de vedação 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 igual a 1,3 MPa.

Para avaliar o desempenho mecânico dos blocos EVA propostos foram realizadas também avaliações de cargas de ocupação e impactos nas paredes de um 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 peças suspensas) 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 é suficiente como resistência à compressão mínima, em função do bom desempenho das paredes ensaiadas.

A partir desses estudos que viabilizam a aplicação do bloco EVA em alvenarias, passa-se à necessidade de avaliar o desempenho térmico proporcionado por tal material. Este é o propósito da pesquisa que está em andamento e que tem gerado boas expectativas quanto ao desempenho do componente proposto. O presente artigo apresenta resultados baseados em estudos experimentais comparativos entre os blocos EVA e tijolos cerâmicos. Também são feitos cálculos de desempenho térmico nas comparações entre diferentes blocos EVA.

## 2. OBJETIVO

O objetivo das avaliações aqui relatadas em princípio é avançar nos estudos já consolidados com os blocos EVA, tendo em conta, nesta etapa, caracterizar o desempenho térmico do pré-moldado proposto, comparando-o com o desempenho do tijolo cerâmico e entre os próprios blocos EVA, em função de variações na geometria e no teor de EVA incorporado.

### 3. METODOLOGIA

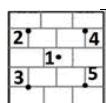
O ensaio para verificação do comportamento térmico de mini paredes ( $1\text{ m}^2$ ) foi realizado no interior de um protótipo ( $8,32\text{ m}^2$ ) construído com blocos EVA. Para a execução delas foram produzidos os blocos EVA com as dimensões e teores de EVA apresentadas na Tabela 01.

TABELA 01: Identificação dos componentes utilizados na preparação de mini paredes

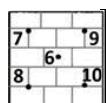
Identificação	Dimensões (cm)	Teor de EVA $D_{\max}=9,5\text{ mm}$	Teor de areia $D_{\max}=2,4\text{ mm}$	Componentes
CER 9	19 x 19 x 9			
EVA 60% 9	39 x 19 x 9	60%	40%	
EVA 60% 14	39 x 19 x 14	60%	40%	
EVA 60% 12,5	25 x 25 x 12,5	60%	40%	
EVA 80% 12,5	25 x 25 x 12,5	80%	20%	

Todos os blocos EVA foram fabricados com dosagem 1:5 (cimento: agregados miúdo e graúdo; em volume), utilizando cimento Portland CP II F 32. Para a moldagem dos blocos EVA 60% 9, EVA 60% 14 e EVA 60% 12,5 utilizou-se a proporção entre os materiais da seguinte forma: 1(cimento): 2(areia): 3(EVA): 0,5(água/cimento). Para a moldagem do bloco EVA 80% 12,5 utilizou-se a proporção: 1(cimento): 1(areia): 4(EVA): 0,5(água/cimento). Para as três geometrias descritas na Tabela 01 adotou-se os controles de produção consolidados na pesquisas anteriores (DE MELO & LIMA FILHO, 2009). A moldagem dos blocos EVA foi feita em máquina vibro-prensa semi-automática, sendo devidamente curados até completarem 28 dias de idade, quando foram realizados os ensaios de resistência à compressão, tendo como média, em todos os casos, valores maiores do que 1,35 MPa.

Com os componentes fabricados foram construídas mini paredes e adotou-se como regra realizar a instrumentação somente após três dias, através da colocação de sensores de temperaturas (termopares) diretamente na superfície dos blocos EVA. Essa instrumentação se fez com dez termopares 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, com o termopar central (nº 1) recebendo a maior incidência da fonte radiante de calor, e quatro periféricos, distando 20 cm do perímetro da mini parede; e outros cinco termopares foram colocados na face oposta em posições correspondentes (Figura 01). Portanto, considera-se como área de interesse no ensaio aquela correspondente a um círculo em torno do termopar central, com raio aproximadamente igual a 25 cm. Para a execução da mini parede, utilizando tijolos cerâmicos (8 furos), os componentes foram adquiridos no mercado local e foram adotados os mesmos procedimentos descritos anteriormente com respeito à instrumentação (Figura 02).



a) identificação e posição dos termopares na face "A" **exposta** ao calor



b) identificação e posição dos termopares na face "B" **oposta** ao calor

FIGURA 01: Desenho esquemático do posicionamento dos termopares nas faces das mini paredes.

Como fonte de calor utilizou-se uma lâmpada de 250 W a uma distância de 20 cm da mini parede. 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, sistematizados pela média aritmética dos valores obtidos.

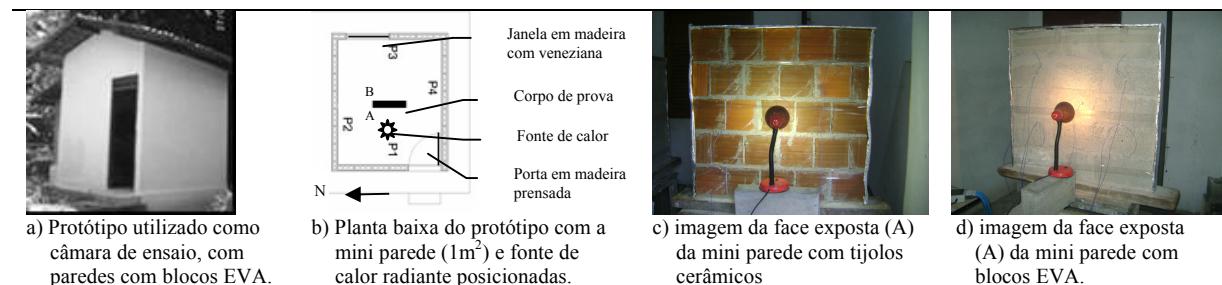


FIGURA 02 – Detalhes do ensaio para verificação da variação térmica entre as faces de mini paredes ( $1m^2$ )

Os resultados apresentados nos gráficos consideram a variação entre as temperaturas medidas nos termopares centrais (nº 1 e 6) nas duas faces em cada mini parede, em função do tempo de exposição ao calor (24 horas). A temperatura média global para cada face foi calculada sem considerar os dados registrados nas 4 primeiras horas de exposição ao calor, por ser um período em que a temperatura no termopar central ainda estão se elevando até atingir patamar mais definido.

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, 2005). Com esse dado foi possível realizar 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, 2005). Para o ensaio de condutividade térmica (Condutivímetro K30) foram moldadas placas (300 mm x 300 mm x 30 mm) com os compósitos nas mesmas dosagens utilizadas na fabricação do blocos EVA.

#### 4. RESULTADOS PARCIAIS

##### 4.1. Variação de temperatura através de mini paredes

A Figura 03 apresenta os resultados relativos às variações de temperatura para os termopares centrais, comparando duas mini paredes que têm a mesma espessura (9 cm) e materiais diferentes, EVA 60% 9 e CER 9. Percebe-se que somente após as quatro primeiras horas a temperatura do termopar central na face exposta (nº 1) alcança um patamar de temperatura igual a 40 °C, mantendo-se com pequenas variações durante as horas seguintes. Ao completar 24 horas de ensaio, as temperaturas registradas nos termopares centrais (nº 1) nas faces expostas são 41,4 °C e 43,5 °C e nas faces opostas (nº 6) são 29,7 °C e 31,5 °C, com blocos EVA 60% 9 e CER 9, respectivamente. Então, pode-se afirmar que os componentes EVA 60% 9 e CER 9 apresentaram desempenho térmico semelhante.

Destacam-se que apenas as leituras dos termopares centrais (nº 1 e 6) apresentaram variações significativas de temperatura, tendo os demais colocados nas periferias das mini paredes variações mínimas. Este resultado valida a premissa de que se tem como a área de interesse neste ensaio aquela correspondente a área com raio aproximado de 25 cm em torno do

termopar central, onde, na verdade, se confirmou o maior fluxo de calor perpendicular às mini paredes.

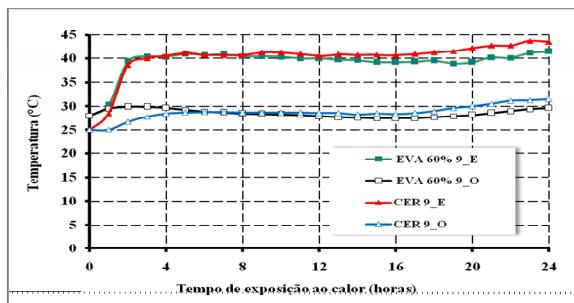


FIGURA 03: Comparação entre mini paredes com tijolos cerâmicos (CER 9) e blocos EVA (EVA 60% 9).

As variações de temperaturas para todas as mini paredes executadas com bloco EVA, considerando dimensões e teores de EVA diferentes são apresentadas na Figura 04.

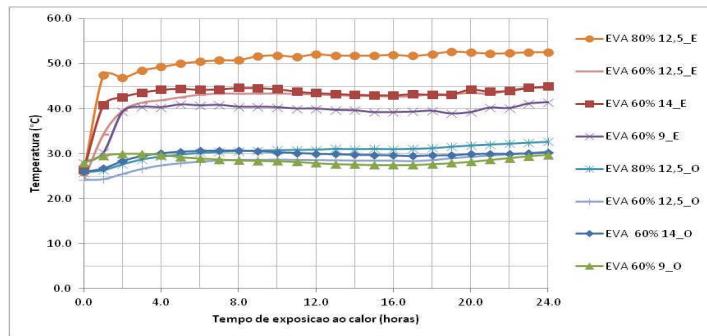


FIGURA 04: Comparação entre mini paredes com blocos de EVA, com dimensões e teores de EVA diferentes.

Neste caso, comparando-se todas as amostras, destaca-se a mini parede com EVA 80% 12,5 que obteve a maior diferença entre as temperaturas das faces exposta e oposta ao calor. Percebe-se também que apesar das espessuras das mini paredes variarem em função do tipo de bloco EVA utilizado, é o teor de EVA presente que influencia mais na variação de temperatura entre as faces exposta e oposta. Para as mini paredes com espessuras diferentes e mesmo teor de EVA (EVA 60% 12,5 e EVA 60% 14) as curvas são semelhantes com a diferença entre as temperaturas das faces praticamente iguais. Entretanto, para as mini paredes com mesma espessura e teor de EVA diferentes (EVA 80% 12,5 e EVA 60% 12,5) o efeito de barreira à passagem de calor entre as faces exposta e oposta ao calor foi notável com a maior diferença de temperatura (20,6 °C) para aquela com maior teor de EVA.

#### 4.2. Análise complementar do desempenho térmico dos corpos de prova.

Os resultados dos ensaios de condutividade térmica para as amostras confeccionadas com EVA nas proporções 60% e 80%, foram 0,77 W/mK e 0,66 W/mK, respectivamente. Como esperado, destaca-se que quanto maior o teor de EVA, menor foi a condutividade térmica.

Silva (2007) relata que 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. 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 ( $D_{máx} = 9,5$  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.

A análise complementar a partir dos cálculos dos parâmetros térmicos realizados, conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), são apresentados na Tabela 02.

TABELA 02: Valores calculados para Resistência Térmica Total, Transmitância Térmica, Capacidade Térmica e Atraso Térmico para todos os blocos EVA

	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 $h$
EVA 60% 9	0,3517	2,84	89,92	2,25
EVA 60% 14	0,3827	2,62	93,79	2,42
EVA 60% 12,5	0,3655	2,74	202,25	3,82
EVA 80% 12,5	<b>0,3917</b>	<b>2,55</b>	202,25	<b>4,11</b>

Considerando que quanto maior é o valor de resistência térmica mais isolante é o material, ao comparar os resultados constata-se que o bloco EVA 80% 12,5 apresenta a maior resistência térmica ( $0,3917 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ ) e, portanto, é com ele que se tem a maior barreira à passagem de calor, o que está coerente com a análise dos resultados experimentais.

Em relação à 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, examinando os valores de Transmitância Térmica (U) para todas as amostras com EVA (Tabela 02), pode-se constatar que os blocos fabricados com EVA 80% e 12,5, apresentam o menor valor ( $2,55 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). Mais uma vez, tem-se aqui coerência com a análise dos resultados experimentais.

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), o cálculo da capacidade térmica ( $C_T$ ) é obtido em função da espessura do componente, do calor específico e da densidade do material. A partir dos valores encontrados para  $C_T$ , considerando todas as variações, observa-se que os blocos EVA 80% 12,5 e os blocos EVA 60% 12,5 apresentam os mesmos resultados ( $202,25 \text{ KJ}/(m^2 \cdot \text{K})$ ), visto que foram admitidas a mesma densidade ( $2.000 \text{ kg/m}^3$ ), o mesmo calor específico e eles têm a mesma espessura. Silva (2007), afirma que a melhor regulação térmica na edificação deve ser atribuída a materiais que possuam além de uma capacidade térmica elevada, um coeficiente de condutividade térmica reduzido. Essa combinação ocorre extamente com o bloco EVA 80% 12,5, que apresenta a maior capacidade térmica e o menor valor de condutividade térmica entre os blocos ensaiados.

O último parâmetro analisado é o atraso térmico, o qual significa que quanto maior valor o componente de vedação proporcionar mais tempo levará para o ambiente atingir a temperatura externa. Nos resultados para as várias amostras, destaca-se aquela com o bloco EVA 80% 12,5 que apresenta maior atraso térmico, com 4,11 horas.

Portanto, em todos os cálculos realizados na análise complementar, o bloco EVA 80% 12,5 aparece com melhor desempenho entre aqueles que foram comparados, o que está coerente com a análise anterior que foi baseada em ensaios experimentais para a verificação da variação de temperatura em mini paredes.

## 5. CONCLUSÕES PARCIAIS

Os resultados aqui apresentados ainda não são conclusivos, visto que fazem parte de uma ampla pesquisa em andamento, que ainda aguarda confirmações de ensaios experimentais que estão sendo repetidos com implementação de maior controle nas variações de temperatura entre as faces das mini paredes. Contudo, considerando os resultados satisfatórios já obtidos pode-se destacar que o potencial de aproveitamento dos resíduos de EVA para fabricação de blocos de vedação é promissor, sobretudo pela possibilidade em agregar valor ao componente proposto, considerando seu melhor desempenho térmico. Neste sentido, vale destacar os seguintes aspectos:

- os blocos com dimensões convencionais (39 cm x 19 cm X 9 cm) com 60% de agregado EVA, substituindo agregado natural, apresentam desempenho térmico semelhante ao tijolo cerâmico com 8 furos, que tem a mesma espessura (9 cm);
- o bloco EVA 80% 12,5, que atende ao requisito de desempenho mecânico (estudos anteriores), teve melhores resultados para todos os parâmetros analisados (maior resistência térmica, menor transmitância térmica, capacidade térmica elevada combinada com baixo coeficiente de condutividade térmica, maior atraso térmico e maior diferença entre as temperaturas das faces exposta e oposta ao calor nas mini paredes) destacando-se como o melhor desempenho entre todas as amostras comparadas;
- a geometria, a espessura e o teor de EVA presente nos blocos EVA influenciam no desempenho dos componentes, sendo mais destacada a influência do teor de EVA, confirmado pelo melhor desempenho do bloco EVA 80% 12,5.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2/2005:** 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.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-5/2005:** Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro.
- 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, v. 9, n. 4, p. 141 – 155 out. /dez.
- 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 industria de calçados na construção civil:** Bloco EVA uma alternativa às alvenarias das construções. Dissertação de Mestrado. UFPB. João Pessoa, 89p.
- 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 tem sido realizados, pelo apoio (pessoal e equipamentos) na concretização dos estudos e à CAPES pelo auxílio financeiro, no âmbito do PRODOC, para a execução desta etapa da pesquisa.