

COMPÓSITO CERÂMICO SUSTENTÁVEL COM RESÍDUOS DE EPS E RASPA DE PNEU PARA HABITAÇÃO POPULAR: OBTENÇÃO, DESEMPENHO E APLICAÇÕES

Luiz Guilherme Meira de Souza¹;

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN.

<http://lattes.cnpq.br/0801747108308706>

Aldo Paulino de Medeiros Junior²;

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN.

<http://lattes.cnpq.br/6348783430812427>

Cleiton Rubens Formiga Barbosa Júnior³;

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN.

<https://lattes.cnpq.br/7353332474621022>

Cleiton Rubens Formiga Barbosa⁴.

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN.

<https://lattes.cnpq.br/8673332414572221>

RESUMO: O déficit habitacional brasileiro, atualmente estimado em cerca de 5,7 milhões de moradias, reforça a necessidade de soluções construtivas sustentáveis, economicamente viáveis e adequadas às condições climáticas nacionais. Nesse contexto, este estudo apresenta a obtenção e a caracterização de um compósito de matriz cerâmica formulado com cimento, gesso e areia, incorporando resíduos industriais — poliestireno expandido (EPS) e raspa de pneu — com o objetivo de desenvolver blocos destinados à construção de habitações populares. O trabalho distingue-se pela análise integrada das propriedades térmicas e mecânicas do compósito, bem como pela avaliação da influência de três tipos de recheios reciclados aplicados aos blocos (80 × 28 × 10 cm): placas de EPS, latas de alumínio e garrafas PET. Os resultados indicaram que todas as formulações apresentaram resistência à compressão inferior a 3,0 MPa, classificando o material como adequado para alvenaria de vedação. O desempenho térmico, por sua vez, foi expressivo, com diferença de temperatura de até 8 °C entre as faces interna e externa do ambiente edificado e condutividade térmica comparável à de tijolos cerâmicos de oito furos e inferior à de blocos de concreto. A formulação C-RP-G-EPS, associada ao recheio de placas de EPS, apresentou o melhor equilíbrio entre desempenho térmico, resistência mecânica, acabamento superficial e tempo de cura, evidenciando o potencial do compósito como alternativa inovadora e sustentável para a construção de moradias populares.

PALAVRAS-CHAVE: Compósito cerâmico sustentável. Habitação popular. Eficiência energética. Conforto térmico.

SUSTAINABLE CERAMIC COMPOSITE MADE WITH EPS WASTE AND TIRE SCRAPS FOR LOW-COST HOUSING: PRODUCTION, PERFORMANCE, AND APPLICATIONS

ABSTRACT: Brazil's housing deficit, currently estimated at around 5.7 million homes, reinforces the need for sustainable, economically viable construction solutions adapted to national climatic conditions. In this context, this study presents the obtaining and characterization of a ceramic matrix composite formulated with cement, gypsum, and sand, incorporating industrial waste—expanded polystyrene (EPS) and tire crumb—with the aim of developing blocks for the construction of low-cost housing. The work is distinguished by the integrated analysis of the thermal and mechanical properties of the composite, as well as by the evaluation of the influence of three types of recycled fillings applied to the blocks (80 × 28 × 10 cm): EPS boards, aluminum cans, and PET bottles. The results indicated that all formulations presented compressive strength below 3.0 MPa, classifying the material as suitable for non-load-bearing masonry. The thermal performance, in turn, was impressive, with a temperature difference of up to 8 °C between the inner and outer faces of the building and thermal conductivity comparable to that of eight-hole ceramic bricks and lower than that of concrete blocks. The C-RP-G-EPS formulation, associated with EPS board filling, presented the best balance between thermal performance, mechanical resistance, surface finish, and curing time, highlighting the composite's potential as an innovative and sustainable alternative for the construction of affordable housing.

KEY-WORDS: Sustainable ceramic composite. Social housing. Energy efficiency. Thermal comfort.

INTRODUÇÃO

A demanda por materiais de construção que conciliem desempenho mecânico, térmico e acústico tem crescido de forma significativa, impulsionada pela necessidade de edificações mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Nos últimos anos, pesquisas têm destacado o potencial de compósitos sustentáveis formulados com resíduos poliméricos e elastoméricos, capazes de modificar propriedades físicas de matrizes cimentícias e cerâmicas (SILVA et al., 2023; ZHANG et al., 2024).

A incorporação de resíduos como poliestireno expandido (EPS) e borracha de pneus tem sido amplamente estudada como estratégia para reduzir impactos ambientais, promover a economia circular e melhorar o desempenho térmico de elementos construtivos (ALMEIDA; FERREIRA; COSTA, 2022; KUMAR; SINGH, 2023).

No Brasil, tais iniciativas ganham relevância diante do déficit habitacional, que ultrapassa 5,7 milhões de moradias, afetando principalmente famílias de baixa renda. A busca por soluções construtivas de baixo custo, rápida execução e bom desempenho térmico torna-se, portanto, uma necessidade social urgente. Nesse contexto, o Grupo de Estudos de Materiais e Energia da UFRN tem priorizado o desenvolvimento de compósitos cerâmicos sustentáveis formulados com cimento, gesso e areia, incorporando resíduos recicláveis com o objetivo de atender às exigências normativas de resistência mecânica e às demandas de conforto térmico em habitações populares.

Estudos recentes demonstram que a adição de borracha de pneus pode melhorar a absorção de impacto e reduzir a condutividade térmica, embora frequentemente diminua a resistência mecânica dos compósitos (MARTÍNEZ-BARRERA et al., 2023; LIU et al., 2024). De modo semelhante, o EPS reciclado apresenta baixa densidade e elevada resistência térmica, sendo amplamente utilizado como aditivo ou recheio em blocos e painéis destinados à construção de edificações energeticamente eficientes (PAPASTEFANOU et al., 2023).

Trabalhos anteriores realizados na UFRN, como o de Lima (2012), já haviam demonstrado o potencial de diferentes tipos de recheios reciclados — placas de EPS, latas de alumínio e garrafas PET — para melhorar o desempenho térmico de blocos de vedação. A formulação de blocos com dimensões ampliadas, como os utilizados neste estudo (80 × 28 × 10 cm), visa acelerar o processo construtivo e reduzir custos de mão de obra, especialmente quando o compósito apresenta acabamento superficial que dispensa o uso de reboco. Além disso, a combinação de propriedades térmicas e mecânicas é fundamental para garantir que o material seja adequado para alvenaria de vedação, atendendo aos requisitos mínimos de resistência e para a redução da carga térmica no interior das edificações.

Apesar dos avanços, ainda são limitados os estudos que realizam caracterizações integradas — térmicas e mecânicas — de compósitos cerâmicos sustentáveis contendo múltiplos resíduos reciclados. A maior parte das pesquisas concentra-se predominantemente no desempenho mecânico, negligenciando a quantificação das propriedades térmicas, essenciais para avaliar o potencial do material em promover conforto térmico em climas tropicais (SANTOS et al., 2024). Assim, este trabalho busca preencher essa lacuna ao investigar a obtenção, caracterização e aplicação de um compósito cerâmico sustentável formulado com resíduos de EPS e raspa de pneu, avaliando seu desempenho em blocos destinados à construção de habitações populares e analisando a influência de diferentes tipos de recheios reciclados.

OBJETIVO

Desenvolver, caracterizar e avaliar o desempenho térmico e mecânico de um compósito cerâmico sustentável formulado com resíduos de poliestireno expandido (EPS) e raspa de pneu, aplicado na fabricação de blocos para habitação popular, investigando

ainda a influência de diferentes tipos de recheios reciclados no comportamento do material.

METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada para permitir a obtenção, caracterização mecânica, física e térmica de um compósito cerâmico sustentável formulado com resíduos de poliestireno expandido (EPS) e raspa de pneu (RP), bem como a avaliação do desempenho dos blocos produzidos. Os procedimentos seguiram normas técnicas e protocolos amplamente utilizados em pesquisas recentes sobre compósitos cimentícios contendo resíduos poliméricos e elastoméricos (ZHANG et al., 2024; LIU et al., 2024; PAPASTEFANOU et al., 2023).

Formulação do compósito

Foram inicialmente propostas formulações de compósitos constituídos por cimento (C), gesso (G), areia (A), EPS triturado e raspa de pneu (RP), definidas a partir de proporções experimentais previamente estabelecidas. Para cada formulação, foram moldados 21 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, destinados aos ensaios mecânicos, além de corpos de prova com volume de 150 ml para os ensaios físicos.

O EPS utilizado foi oriundo de resíduos da construção civil e previamente selecionado. O material foi triturado até atingir granulometria entre 8 e 12 mesh (2,38–1,68 mm), recomendada para favorecer a homogeneização da matriz cimentícia e melhorar a dispersão das partículas no compósito (ALMEIDA; FERREIRA; COSTA, 2022). A trituração foi realizada em equipamento artesanal composto por disco metálico perfurado acoplado a motor elétrico de 0,75 CV.

A raspa de pneu (RP) utilizada foi obtida de resíduos industriais, previamente higienizados e selecionados para garantir uniformidade granulométrica e ausência de contaminantes. Todos os materiais foram armazenados em ambiente seco e ventilado até o momento da preparação das misturas.

Moldagem e fabricação dos blocos

Os blocos foram moldados em fôrmas metálicas com dimensões de 80 × 28 × 10 cm, projetadas para permitir desmolde rápido e garantir uniformidade geométrica. As misturas foram preparadas manualmente em betoneira de pequeno porte, seguindo a ordem de incorporação dos materiais secos (cimento, gesso, areia, EPS e raspa de pneu), seguida da adição gradual de água até atingir consistência adequada para moldagem. Após a homogeneização, a massa foi vertida nas fôrmas previamente lubrificadas, sendo aplicada vibração manual para reduzir a formação de vazios. Os blocos permaneceram nas fôrmas por 24 horas e, posteriormente, foram submetidos a cura natural por 28 dias, conforme

recomendações para compósitos cimentícios (ZHANG et al., 2024).

Ensaio mecânicos

A resistência à compressão foi determinada no Laboratório de Concreto da UFRN, utilizando prensa hidráulica com capacidade de 300 toneladas. Os ensaios seguiram as normas: NBR 6461:1983 – Blocos cerâmicos para alvenaria e NBR 15270-1:2005 – Componentes cerâmicos: requisitos e métodos de ensaio. Os corpos de prova cilíndricos (5 × 10 cm) foram posicionados entre as placas da prensa e submetidos a carregamento contínuo até a ruptura. A resistência à compressão foi calculada pela razão entre a carga máxima e a área da seção transversal. Estudos recentes indicam que compósitos contendo borracha e EPS tendem a apresentar redução de resistência mecânica devido à menor rigidez dos resíduos incorporados (LIU et al., 2024; MARTÍNEZ-BARRERA et al., 2023).

Ensaio físicos: absorção, índice de vazios e massa específica

A caracterização física do compósito seguiu a NBR 9778:2005, envolvendo a determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Corpos de prova de 150 ml foram curados por 28 dias, secos em estufa a 105–110 °C para obtenção da massa seca (M_s) e, posteriormente, imersos por 72 horas e fervidos por 5 horas para determinação da massa saturada (M_{sat}) e da massa imersa (M_i). As pesagens foram realizadas em balança de precisão de 0,01 g, e os parâmetros físicos foram calculados conforme as equações normativas. O procedimento foi repetido em amostras revestidas com tinta impermeabilizante Vedapren/Vedacit, permitindo comparar o comportamento do compósito com e sem impermeabilização e avaliar sua influência na absorção e na durabilidade potencial.

Determinação da densidade aparente

A densidade aparente foi determinada a partir de amostras de aproximadamente 1 cm³, retiradas após 28 dias de cura. Utilizou-se o equipamento DSL 910, que mede automaticamente a massa seca e a massa imersa, calculando a densidade aparente. Esse parâmetro é essencial para avaliar a leveza do compósito, característica desejável em materiais sustentáveis para habitação popular (ALMEIDA; FERREIRA; COSTA, 2022).

Ensaio térmicos

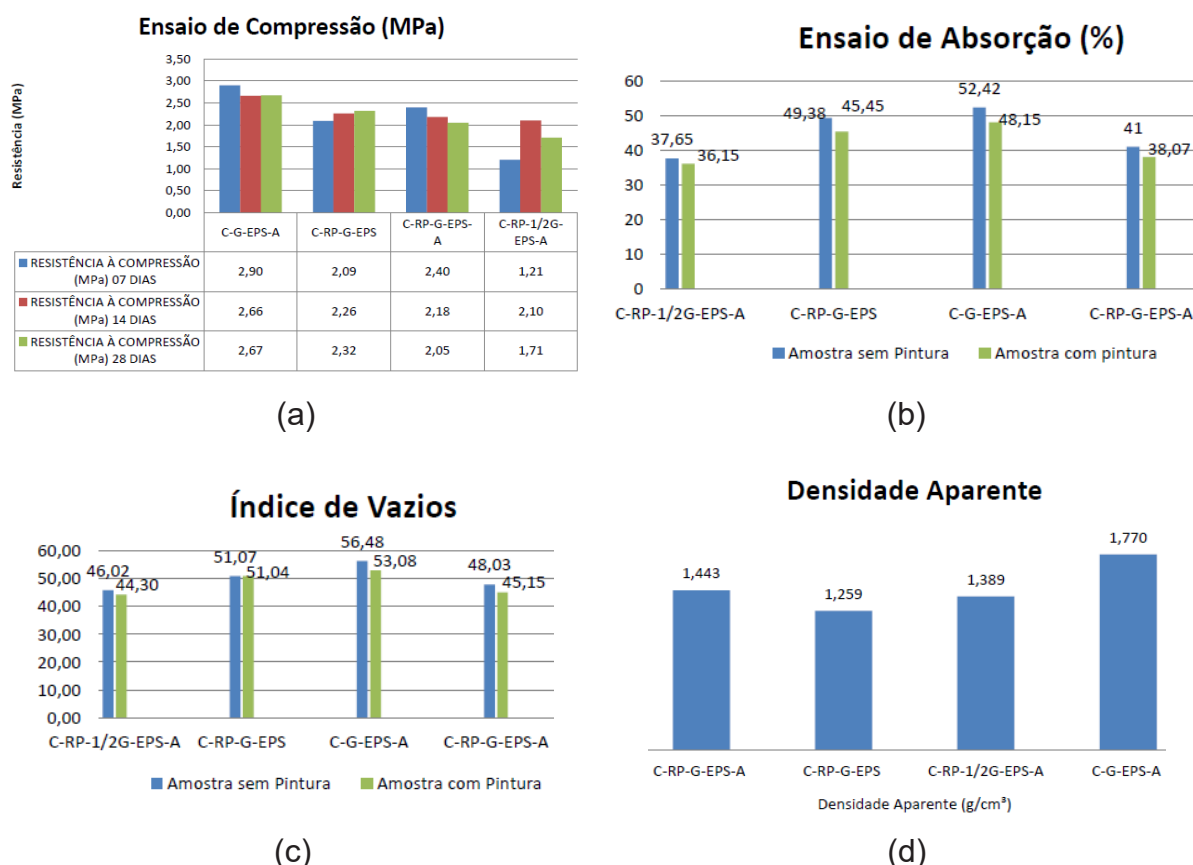
As propriedades térmicas foram determinadas utilizando o equipamento KD2-Pro, baseado no método de linha de fonte de calor transitória, amplamente empregado em estudos de condutividade térmica de compósitos cimentícios (PAPASTEFANOU et al., 2023). Foram selecionados 5 corpos de prova (10 cm × 5 cm) para cada compósito. A

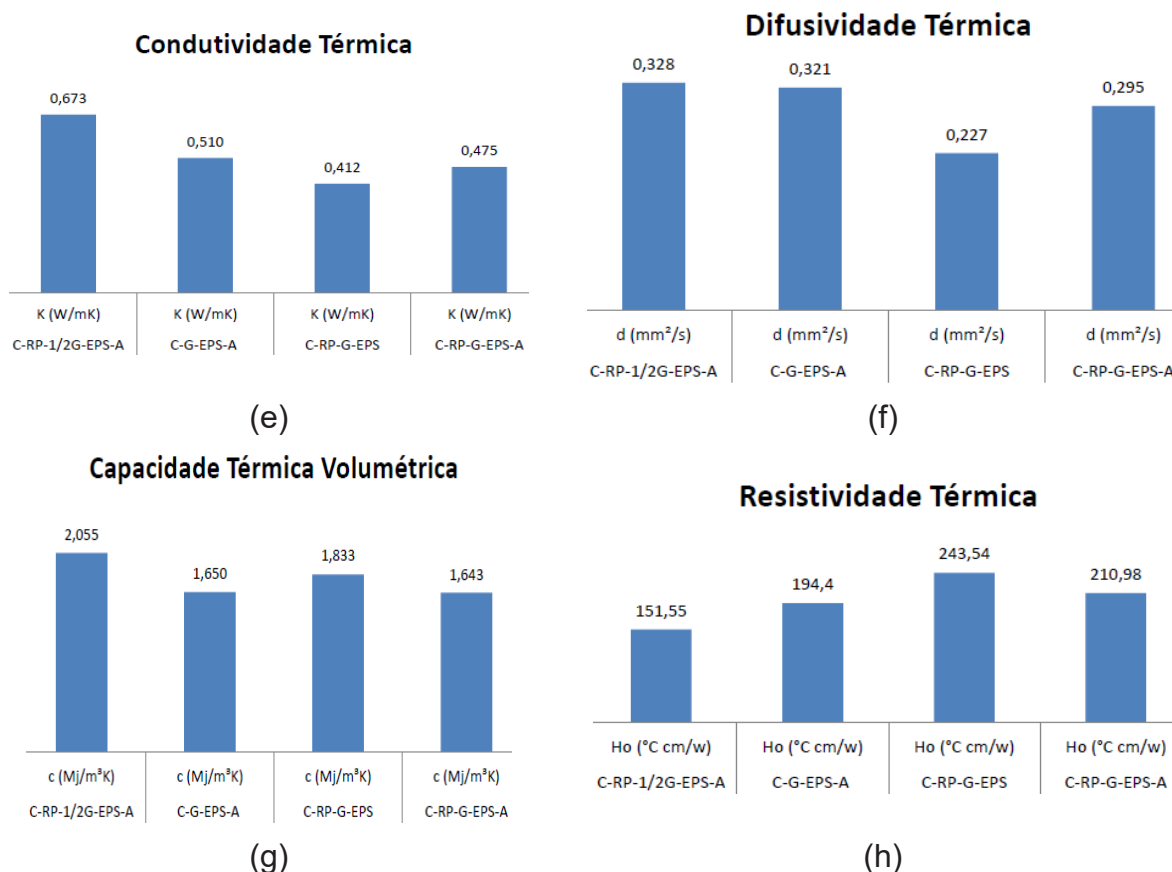
utilização do KD2-Pro com sensor de agulha dupla possibilitou a determinação experimental da condutividade térmica, resistividade térmica, difusividade térmica e calor específico volumétrico das diferentes amostras de compósitos. Esses parâmetros são fundamentais para avaliar o potencial do compósito como elemento de vedação com capacidade de reduzir cargas térmicas em edificações.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do Quadro 1 reúnem as avaliações mecânicas, físicas e térmicas das quatro formulações do compósito, permitindo analisar seu desempenho global e sua adequação para blocos de vedação em habitação popular. A discussão considera os efeitos do EPS, da raspa de pneu, do gesso e das proporções de agregados, relacionando os achados às evidências recentes sobre compósitos cimentícios leves e materiais alternativos.

Quadro 1. Ensaios do compósito: (a) Resistência à compressão (b) Absorção de água (c) Índice de vazios (d) Densidade aparente (e) Condutividade térmica (f) Difusividade térmica (g) Capacidade térmica volumétrica (h) difusividade térmica.





Fonte: Autores, 2026.

Seleção do compósito

A definição das formulações considerou simultaneamente o desempenho mecânico e térmico, buscando equilibrar resistência mínima para vedação e baixa condutividade térmica. Os materiais escolhidos — cimento, gesso, areia, EPS e raspa de pneu — foram selecionados pela disponibilidade, baixo custo e potencial de reaproveitamento sustentável. As quatro formulações (C-G-EPS-A, C-RP-G-EPS, C-RP-G-EPS-A e C-RP-1/2G-EPS-A) variaram as proporções de gesso, EPS e raspa de pneu para avaliar seus efeitos nas propriedades mecânicas, físicas e térmicas. Os resultados confirmaram tendências apontadas pela literatura recente: polímeros reciclados reduzem densidade e condutividade térmica, mas também diminuem a resistência mecânica.

Ensaio de resistência à compressão

O Quadro 1-a mostra que todas as formulações apresentaram aumento progressivo da resistência à compressão aos 7, 14 e 28 dias, comportamento típico de matrizes cimentícias. Embora os valores tenham sido reduzidos pela presença de EPS e gesso, que elevam a porosidade e diminuem a coesão da matriz, o desempenho obtido foi compatível com blocos de vedação. A formulação de melhor resultado superou em 8% o mínimo da NBR 15270, sendo classificada como vedação tipo A, enquanto as demais se enquadraram

como tipo B.

Nenhuma formulação atingiu resistência para alvenaria estrutural, o que era esperado devido à combinação EPS pneu, que reduz a rigidez do compósito. Ainda assim, todas as misturas mostraram viabilidade para uso em habitações populares, com a vantagem adicional da leveza proporcionada pelos polímeros reciclados, facilitando transporte e assentamento.

Absorção de água

O Quadro 1-b mostra que todas as formulações apresentaram absorção de água acima do limite da NBR 7171, embora ainda possam ser utilizadas mediante impermeabilização superficial. A raspa de pneu reduziu a absorção devido à sua natureza hidrofóbica, enquanto o gesso aumentou esse parâmetro por sua elevada porosidade. A formulação C-RP-1/2G-EPS-A apresentou o melhor desempenho, com absorção 28,2% menor que a formulação mais crítica C-G-EPS-A. A impermeabilização reduziu a absorção em média 7%, com maior efeito na C-G-EPS-A (8,15%), embora reduções mais expressivas possam ser obtidas com aplicação de uma fina camada de argamassa de cimento.

Índice de vazios

Os valores médios do índice de vazios (Quadro 1-c) confirmam a relação direta entre porosidade e absorção de água. A formulação C-RP-1/2G-EPS-A apresentou o menor índice de vazios, coincidindo com o melhor desempenho no ensaio de absorção. A presença de gesso em maiores proporções aumentou significativamente a porosidade, comportamento também relatado por Kumar & Singh (2022). A pintura reduziu discretamente o índice de vazios, com maior redução observada na formulação C-G-EPS-A (6,02%), comportamento coerente com o observado no ensaio de absorção.

Densidade aparente e propriedades térmicas

Os resultados de densidade aparente (Quadro 1-c) mostram que todas as formulações apresentam densidade inferior à de blocos cerâmicos convencionais, característica desejável em materiais leves e ambientalmente eficientes. A formulação C-RP-G-EPS destacou-se pelo melhor desempenho térmico, exibindo condutividade muito inferior à de tijolos maciços e comparável à de tijolos furados, devido à combinação de EPS, borracha e maior índice de vazios. A diferença entre essa formulação e sua variante C-RP-G-EPS-A atingiu 63,4%, evidenciando o impacto da variação de gesso e agregados na estrutura interna. A difusividade e a resistividade térmica (Quadro 1-f e 1-h) seguiram o mesmo padrão, com desempenho 60,7% superior em relação à formulação menos eficiente. Assim, a C-RP-G-EPS se confirma como a mais adequada para aplicações que exigem maior conforto

térmico, especialmente em regiões de clima quente como o Nordeste brasileiro.

Análise de resistência térmica dos blocos com diferentes tipos de recheio

A resistência térmica dos blocos foi avaliada por meio do monitoramento das temperaturas interna e externa durante três dias, permitindo comparar o efeito dos três tipos de recheio — latas de alumínio, garrafas PET e placas de EPS. Os resultados confirmaram tendências descritas na literatura: cavidades internas e materiais de baixa condutividade reduzem significativamente a transferência de calor. Os blocos com latas apresentaram diferença média máxima de 8,62 °C, resultado associado ao ar aprisionado no interior das latas, que atua como isolante.

Os blocos com garrafas PET tiveram desempenho ligeiramente superior, com diferença média de 8,99 °C, devido à menor condutividade térmica do plástico e ao maior volume de ar interno. O melhor desempenho foi obtido com placas de EPS, cuja diferença média superou as demais em até 20,5%, refletindo a baixíssima condutividade térmica do material e sua estabilidade ao longo dos testes.

A hierarquia de eficiência térmica observada (EPS > PET > latas) está diretamente relacionada às propriedades intrínsecas dos materiais e ao volume de ar aprisionado, confirmando que o ar é o principal responsável pela resistência térmica em materiais leves. Assim, todos os recheios contribuíram para reduzir a transferência de calor, mas o EPS se destacou como a solução mais eficiente e tecnicamente vantajosa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados confirmam a viabilidade técnica do compósito produzido com EPS e raspa de pneu para aplicação em blocos de vedação destinados à habitação popular. Embora o EPS reduza a resistência mecânica devido ao aumento da porosidade, há melhoria no desempenho térmico, tornando o compósito adequado para regiões de clima quente, comportamento amplamente relatado na literatura (Ferreira et al., 2020; Mendes et al., 2024).

A formulação C-G-RP-EPS apresentou o melhor equilíbrio entre resistência mecânica e propriedades térmicas, sendo a mais indicada para a produção dos blocos. Todas as misturas exibiram densidade aparente inferior à de tijolos cerâmicos e concreto, evidenciando a leveza do material e facilitando transporte e assentamento, além de reduzir o impacto ambiental associado ao uso de materiais convencionais.

A absorção de água, superior à de blocos tradicionais, indica a necessidade de impermeabilização complementar, em consonância com recomendações recentes para compósitos leves (Zhang et al., 2023). Ainda assim, o processo de fabricação mostrou-se simples, de baixo custo e facilmente transferível para comunidades, permitindo produção

em regime de mutirão.

Entre os recheios avaliados, as placas reutilizáveis de EPS apresentaram o melhor desempenho térmico, superando garrafas PET e latas de alumínio, resultado coerente com a baixíssima condutividade térmica do material.

Assim, o compósito estudado configura-se como uma alternativa leve, sustentável, economicamente acessível e termicamente eficiente, alinhada às demandas de habitação popular e às diretrizes contemporâneas de reaproveitamento de resíduos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R.; FERREIRA, M.; COSTA, D. **Thermal behavior of EPS-based lightweight composites for sustainable construction**. Construction and Building Materials, v. 357, 2022.

FERREIRA, A. C.; LIMA, R. S.; OLIVEIRA, M. F. **Influence of gypsum addition on the porosity and mechanical behavior of cementitious composites**. Construction and Building Materials, v. 262, 2020.

KUMAR, A.; SINGH, R. **Mechanical and thermal performance of cementitious composites incorporating waste tire rubber**. Journal of Cleaner Production, v. 421, 2023.

KUMAR, R.; SINGH, S. **Mechanical and thermal performance of lightweight concrete incorporating recycled polymers**. Journal of Building Engineering, v. 45, 2022.

LIU, Y. et al. **Rubberized cement composites: A review of mechanical behavior and microstructural evolution**. Materials Today Communications, v. 38, 2024.

MARTÍNEZ-BARRERA, G. et al. **Waste tire rubber as a modifier in cement-based materials: mechanical and thermal implications**. Materials, v. 16, 2023.

MENDES, J. P.; SOUZA, L. R.; BARBOSA, T. A. **Rubberized and EPS based cement composites: A review of mechanical and thermal behavior**. Materials Today Communications, v. 38, 2024.

PAPASTEFANOU, A. et al. **Recycled EPS in lightweight construction materials: thermal and mechanical assessment**. Energy and Buildings, v. 293, 2023.

SANTOS, J. et al. **Integrated thermal–mechanical characterization of sustainable composites for building envelopes**. Journal of Building Engineering, v. 83, 2024.

SILVA, D. F.; ALMEIDA, P. R.; SANTOS, J. L. **Use of recycled rubber in cementitious materials: effects on durability and water absorption**. Journal of Cleaner Production, v. 280, 2021.

SILVA, T. et al. **Sustainable ceramic composites reinforced with polymeric waste: mechanical and thermal analysis**. Ceramics International, v. 49, 2023.

ZHANG, H. et al. **Eco-friendly construction composites using recycled polymers: performance and environmental assessment.** Resources, Conservation & Recycling, v. 198, 2024.

ZHANG, Y.; LI, H.; WANG, Q. **Thermal insulation and mechanical performance of EPS modified lightweight composites.** Energy and Buildings, v. 286, 2023.