

COMPORTAMENTO TÉRMICO DO MATERIAL ISOLANTE SUSTENTÁVEL DERIVADO DO BAGAÇO DE MANDIOCA EM CONDIÇÕES AMBIENTAIS REAIS

GUSTAVO DE CARVAHO GORGES¹, ELISANDRO PIRES FRIGO², CARLOS EDUARDO TINO BALESTRA³ e DOUGLAS CARDOSO DRAGUNSKI⁴

¹Doutorando em Engenharia e Tecnologia Ambiental, UFPR/UNIOESTE, Palotina-PR, agustavo.gorges@gmail.com;

²Dr. em Agronomia, Prof. Associado, UFPR, Palotina-PR, epfrigo@gmail.com;

³Dr. em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Prof. Adjunto, UNIFAL, Poços de Caldas-MG, profcarlosbalestra@gmail.com;

⁴Dr. em Físico-Química, Prof. Associado, UNIOESTE, Toledo-PR, douglas.dragunski@unioeste.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO: Este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho térmico de um material isolante sustentável desenvolvido a partir do bagaço de mandioca, comparando sua eficiência à da lã de vidro, isolante convencionalmente utilizado na construção civil. Para isso, foram construídos módulos-teste submetidos a condições reais de exposição solar, permitindo a coleta e análise de dados térmicos ao longo de diferentes períodos. Os resultados demonstraram que o isolante à base de bagaço de mandioca apresenta desempenho térmico comparável ao da lã de vidro, sendo eficaz na atenuação da amplitude térmica. O material mostrou-se capaz de retardar o aquecimento matutino e conservar o calor durante o resfriamento vespertino, contribuindo para a estabilidade térmica dos ambientes. A pesquisa destaca o potencial do bagaço de mandioca como alternativa viável e sustentável para aplicações na construção civil, promovendo o reaproveitamento de resíduos agroindustriais e fortalecendo práticas de economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: Isolamento térmico, Bagaço de mandioca, Sustentabilidade, Construção civil, Economia circular.

THERMAL BEHAVIOR OF SUSTAINABLE INSULATING MATERIAL DERIVED FROM CASSAVA BAGASSE UNDER REAL ENVIRONMENTAL CONDITIONS

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the thermal performance of a sustainable insulating material developed from cassava bagasse, comparing its efficiency to that of glass wool, a conventional insulator widely used in the construction industry. Test modules were built and exposed to real solar conditions, enabling the collection and analysis of thermal data over different periods. The results showed that the cassava bagasse-based insulator exhibits thermal performance comparable to glass wool, effectively reducing thermal amplitude. The material proved capable of delaying morning heating and retaining heat during afternoon cooling, contributing to indoor thermal stability. This research highlights the potential of cassava bagasse as a viable and sustainable alternative for construction applications, promoting the reuse of agro-industrial waste and reinforcing circular economy practices.

KEYWORDS: Thermal insulation, Cassava bagasse, Sustainability, Construction industry, Circular economy.

INTRODUÇÃO

Um material isolante térmico é definido como qualquer substância capaz de dificultar significativamente a transferência de calor por condução, convecção ou radiação. Conforme descrito no ASHRAE Handbook – Fundamentals (2025), esses mecanismos representam os principais modos de propagação térmica, e a eficácia do isolamento depende da capacidade do material de resistir a tais processos.

Na construção civil, os materiais isolantes térmicos desempenham papel essencial ao reduzir as trocas de calor entre ambientes internos e externos, contribuindo diretamente para o conforto térmico dos ocupantes, a diminuição do consumo energético e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Tradicionalmente, os isolantes térmicos utilizados são de origem sintética, como o poliestireno expandido (EPS) e a lã de vidro. Embora apresentem bom desempenho térmico, esses materiais acarretam impactos ambientais significativos em suas etapas de produção, uso e descarte, gerando poluição do solo, da água e do ar, além de contribuir para a degradação ecológica (VERMA; KHAN; SRIVASTAVA, 2024).

Nos últimos anos, o uso de isolantes térmicos tem ganhado destaque internacional, impulsionado pela crescente necessidade de aprimorar a eficiência energética das edificações em consonância com metas globais de sustentabilidade (SHAKIR et al., 2023). A adequada isolamento térmica dos edifícios é fundamental não apenas para garantir o conforto ambiental, mas também para reduzir a demanda por energia elétrica, especialmente em sistemas de climatização.

Nesse contexto, materiais de origem natural, como fibras vegetais e resíduos agroindustriais, têm se mostrado alternativas promissoras, pois esses materiais são renováveis, biodegradáveis e possuem menor impacto ambiental em comparação aos isolantes convencionais. O aproveitamento de resíduos agroindustriais, em especial, representa uma estratégia eficaz para reduzir o volume de rejeitos descartados no meio ambiente, promovendo a economia circular e agregando valor a subprodutos antes considerados passivos ambientais.

Um exemplo relevante é o bagaço de mandioca, resíduo gerado em larga escala pela indústria de fécula e derivados da raiz de mandioca. Quando descartado de forma inadequada, esse material pode causar problemas ambientais significativos, como contaminação de corpos d'água, emissão de odores desagradáveis e proliferação de vetores de doenças, além de contribuir para o desperdício de biomassa com potencial de reaproveitamento (ANNIBELLI e SOUZA FILHO, 2006).

Considerando a importância da produção de materiais isolantes térmicos ecológicos, o presente estudo tem como objetivo analisar o desempenho térmico de um material isolante inovador e sustentável desenvolvido a partir do bagaço de mandioca, comparando sua eficiência com a lã de vidro, material convencionalmente utilizado na construção civil, por meio de módulos-teste em condições reais de exposição. Trata-se de uma pesquisa inédita e de alta relevância, que busca contribuir com soluções ambientalmente responsáveis e tecnologicamente viáveis para o setor da construção civil, promovendo avanços significativos na área de materiais sustentáveis e eficiência energética.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo comparativo do potencial de isolamento térmico do material isolante inovador e sustentável à base de bagaço de mandioca, por meio de módulos-teste expostos a condições reais, foi necessário utilizar o referido material com as seguintes características: massa específica de 103,67 g/dm³, índice de vazios de 35,56%, resistência à tração na flexão de 3,18 MPa e condutividade térmica de 0,17 W/(m·K), conforme Gorges (2022). Em comparação, utilizou-se a lã de vidro modelo Wallfelt 4+, da fabricante ISOVER, que apresenta condutividade térmica de 0,042 W/(m·°C), resistência térmica de 1,19 m²·°C/W e densidade de 18 kg/m³.

A pesquisa foi conduzida no município de Iporã, localizado no estado do Paraná. Para tanto, foram construídos nove módulos com dimensões internas de 1x1x1 metro e volume de 1 m³, todos confeccionados com estrutura de madeira, cobertura em telha de fibrocimento e vedação interna realizada com espuma expansível (Figura 1). Além disso, foi empregado, fundo preparador para madeira, ripas de madeira com seção 5x5cm, placa de compensado de madeira (madeirite) 6mm, parafusos de rosca soberba com tamanho 5x25 mm, e mourões de cerca (para estrutura de sustentação). Os módulos foram divididos em três grupos contendo triplicata: o primeiro, utilizado como referência, não recebeu nenhum tipo de isolamento térmico; o segundo foi revestido com lã de vidro, com espessura de 5 cm; e o terceiro com placas de isolante térmico à base de resíduo sólido de mandioca, com espessura de 5 cm. Todos os módulos foram pintados com tinta branca a óleo, visando à conservação do material utilizado na estrutura.

Os módulos-teste, conforme a Figura 1, foram dispostos em campo aberto, com espaçamento de 1,5 metro entre si, evitando sombreamento e contato direto com o solo, e posicionados com a mesma orientação geográfica, a fim de garantir uniformidade na exposição solar.

Figura 1. Disposição dos módulos-teste.



A coleta de dados foi realizada por meio de uma estação meteorológica profissional (modelo ITWH 1080, da empresa Instrutemp), configurada para registrar temperatura externa, umidade relativa do ar externa, velocidade do vento e pluviosidade em intervalos de 10 minutos, durante 24 horas por dia. Os dados climáticos foram organizados semanalmente em planilhas. Para o monitoramento das condições internas dos módulos-testes, foram utilizados nove termo-higrômetros digitais portáteis (modelo INS-1342, da empresa Instrusul), previamente calibrados, apresentando estatisticamente na ANOVA (Análise de Variância) variação de $\pm 0,32^{\circ}\text{C}$, o que assegura a confiabilidade dos resultados obtidos.

As medições das temperaturas internas dos módulos-teste foram realizadas em intervalos de uma hora, das 8h às 20h, totalizando 13 aferições diárias, entre os dias 5 de maio de 2021 e 26 de março de 2024, abrangendo os quatro anos. Para esta pesquisa, foi selecionado aleatoriamente um dia de cada ano, no intervalo de 2021 a 2024, com o propósito de avaliar a manutenção da eficiência do isolante térmico à base de bagaço de mandioca ao longo do tempo.

A ANOVA (Análise de Variância) foi utilizada com o objetivo de verificar se existem diferenças estatisticamente significativas entre os resultados analisados. Esse método é especialmente útil quando se deseja comparar três ou mais médias de diferentes amostras ou condições experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

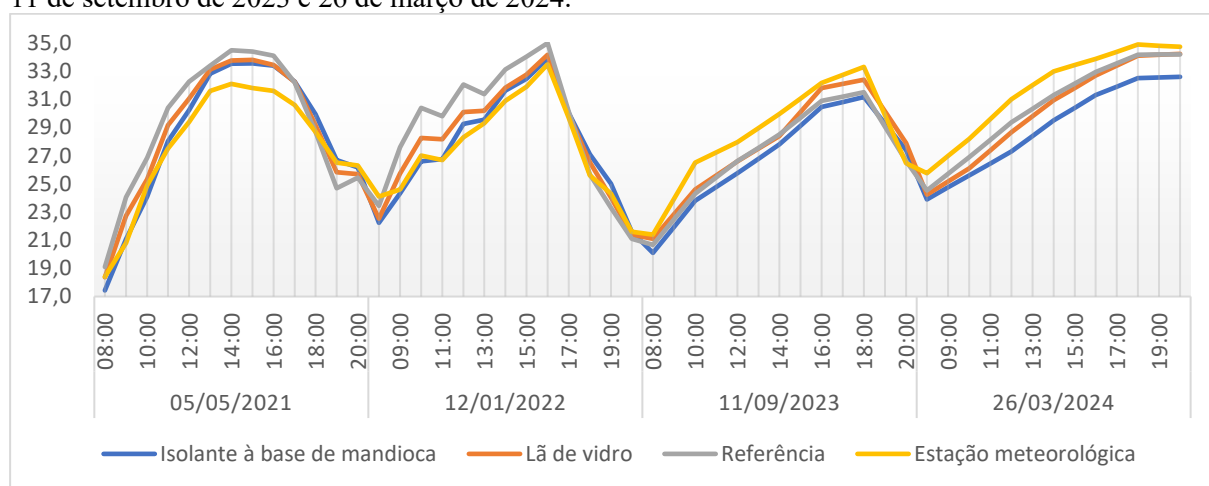
Durante o período matutino, em todas as datas analisadas, observou-se que os módulos-teste revestidos com o isolante de mandioca apresentaram temperaturas internas inferiores durante a fase de aquecimento. Tal comportamento é atribuído à capacidade do material de conservar o ambiente interno, retardando o aumento da temperatura nos módulos (Figuras 2 e 3). Esse efeito também foi verificado no período vespertino, durante o resfriamento, quando os módulos com o referido isolante se mantiveram mais aquecidos em comparação aos demais, evidenciando a retenção da energia térmica acumulada ao longo do dia. A Figura 2 apresenta os dados de temperatura registrados nos dias 5 de maio de 2021, 12 de janeiro de 2022, 11 de setembro de 2023 e 26 de março de 2024.

Os resultados ainda indicam que os módulos de referência, desprovidos de isolamento térmico, apresentaram maior amplitude térmica em comparação aos módulos que utilizaram materiais isolantes. Verificou-se, ainda, que os módulos com lã de vidro e com bagaço de mandioca mantiveram temperaturas internas inferiores durante o aquecimento matinal e superiores durante o resfriamento vespertino, em relação aos módulos de referência. Em grande parte do período de monitoramento, ambos os isolantes apresentaram desempenho térmico semelhante. Além disso, em determinadas datas, o desempenho térmico do isolante à base de mandioca superou o da lã de vidro. Isso foi evidenciado, por exemplo, no dia 26 de março de 2024, quando o módulo com bagaço de mandioca apresentou menor

amplitude térmica, mantendo-se a uma distância de 1,6 °C da curva de temperatura do módulo com lã de vidro (Figura 2).

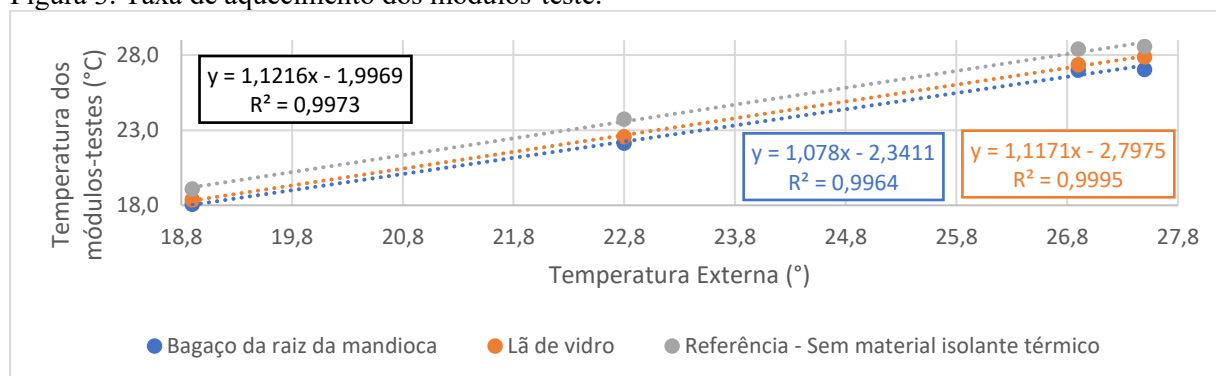
A análise dos dados demonstrou que o desempenho do isolante elaborado com bagaço de mandioca foi equivalente na maior parte do período monitorado ao da lã de vidro, o qual é o material amplamente utilizado na construção civil. Para validar essa equivalência, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com o objetivo de identificar diferenças estatisticamente significativas entre os três grupos avaliados: módulos com lã de vidro, com bagaço de mandioca e sem isolamento (grupo de referência). Posteriormente, aplicou-se o teste de Tukey para determinar quais grupos apresentaram desempenho estatisticamente semelhante ou distinto. Ressalta-se que essas análises foram fundamentadas na diferença entre a temperatura interna dos módulos-teste e a temperatura externa.

Figura 2. Dados da temperatura dos módulos-teste nos dias 5 de maio de 2021, 12 de janeiro de 2022, 11 de setembro de 2023 e 26 de março de 2024.



Esses resultados evidenciam que o uso do bagaço de mandioca como material isolante, mesmo sob condições reais de exposição, apresenta desempenho satisfatório, configurando-se como uma alternativa viável para aplicação na construção civil. Além disso, trata-se de um material inovador e sustentável, oriundo de resíduos agroindustriais, o que contribui para a redução de impactos ambientais e promove o reaproveitamento de subprodutos da cadeia produtiva da mandioca. Adicionalmente, ao realizar uma análise matemática (Figura 3) referente ao período de aquecimento, observou-se que a taxa de elevação da temperatura nos módulos de referência foi superior (1,1216x) àquela registrada nos módulos com lã de vidro (1,1171x) e com bagaço de mandioca (1,078x). Tal constatação reforça a eficácia do isolante à base de mandioca na conservação térmica do ambiente interno dos módulos-teste.

Figura 3. Taxa de aquecimento dos módulos-teste.



CONCLUSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que o isolante térmico desenvolvido a partir do bagaço de mandioca apresenta desempenho equivalente ao da lã de vidro, demonstrando elevada eficácia na mitigação da amplitude térmica nos módulos-teste. O material revelou-se capaz de retardar o processo de aquecimento nas horas iniciais do dia e de conservar o calor durante o resfriamento vespertino, favorecendo a manutenção da estabilidade térmica nos ambientes avaliados.

Para além de sua eficiência técnica, o bagaço de mandioca destaca-se como uma alternativa inovadora e ambientalmente sustentável, por ser oriundo de resíduos agroindustriais de ampla disponibilidade. Sua incorporação na construção civil configura uma solução responsável do ponto de vista ecológico, com potencial para minimizar impactos ambientais e fomentar o reaproveitamento de subprodutos agrícolas.

Dessa forma, o material apresenta-se como uma opção promissora para projetos voltados à eficiência energética e à sustentabilidade, contribuindo para o avanço de práticas construtivas alinhadas aos princípios da economia circular e da valorização de recursos renováveis.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor – Número do Processo 88887.988028/2024-00.

REFERÊNCIAS

- ASHRAE. Handbook—Fundamentals. SI Edition. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2025. ISBN 9781964173115
- ANNIBELLI, Mariana Baggio; SOUZA FILHO, Carlos Frederico Marés de. **Mineração de areia e seus impactos sócio-econômicoambientais**. In: Congresso Nacional do CONPEDI. 2006. p. 4205-4217.
- GORGES, Gustavo de Carvalho; DRAGUNSKI, Douglas Cardoso; BALESTRA, Carlos Eduardo Tino Balestra. **Utilização do Bagaço da Mandioca como Isolante Térmico em Edificações: Avaliação Comparativa do Desempenho em Módulos-Testes sob Condições Reais de Exposição**. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo – PR, 2022.
- NEIRA, Karin Rodríguez et al. Assessment of elaboration and performance of rice husk-based thermal insulation material for building applications. **Buildings**, v. 14, n. 6, p. 1720, 2024.
- SHAKIR, Mohammad A. et al. Review on the influencing factors towards improving properties of composite insulation panel made of natural waste fibers for building application. **Journal of Industrial Textiles**, v. 53, p. 1-33, 2023.
- VERMA, Sarika; KHAN, Mohd Akram; SRIVASTAVA, A. K. **Development of Sustainable Thermal Insulators from Waste Materials**. 2024.