

PAINÉIS AGLOMERADOS DE BAIXA DENSIDADE PARA ISOLAMENTO TÉRMICO PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE MARCENARIA¹

LOW DENSITY PARTICLEBOARDS FOR THERMAL INSULATION PRODUCED WITH CARPENTRY SHOP RESIDUES¹

Bárbara Carvalho ALEXANDRE²; Vinicius Gomes de CASTRO^{2,3}

RESUMO - O uso de painéis isolantes é necessário para redução de consumo energético em construções civis. Geralmente esses painéis são feitos de materiais inorgânicos ou a base de petróleo, mas quando feito de aglomerados de baixa densidade agregam valor ambiental por serem atóxicos, sustentáveis e biodegradáveis. O objetivo desse trabalho foi avaliar o uso de resíduos madeiros de marcenarias da região Nordeste do Brasil na fabricação de painéis prensados manualmente como materiais isolantes. Foram produzidos aglomerados com partículas de *Manilkara* sp. (maçaranduba) e com uma mistura de três espécies da Caatinga (*Aspidosperma pyrifolium*, *Mimosa caesalpiniiifolia* e *Cordia oncocalyx*) utilizando o adesivo PVA. Os tratamentos obtiveram resultados estatisticamente iguais com exceção da propriedade de inchamento em espessura, em que os painéis de madeira nativa da Caatinga foram mais estáveis do que o de *Manilkara* sp. Os painéis foram classificados como de baixa densidade, com valores médios abaixo de 400 kg.m⁻³, e isolantes, com condutividade térmica inferior a 0,20 W.m⁻¹.°C⁻¹. Embora os painéis tenham apresentado altos valores de inchamento em espessura e absorção de água e valores reduzidos nas propriedades mecânicas, isso não limita seu potencial como isolante térmico e pode vir a ser aprimorado com o uso de outro adesivo com maior resistência à umidade.

Palavras-chave: Condutividade térmica; *Manilkara*; Madeiras da Caatinga.

ABSTRACT - The use of insulation boards is necessary to reduce energy consumption in buildings. Usually, these boards are made of inorganic materials or are petroleum-based, but when low density particleboards are used, environmental values are added as they are non-toxic, sustainable, and biodegradable. The aim of this work was to evaluate the use of residue from typical carpentry shops from the Northeast region of Brazil in the production of particleboard manually pressed as insulation material. Particleboards from *Manilkara* sp. and from the mix of three Caatinga native species (*Aspidosperma pyrifolium*, *Mimosa caesalpiniiifolia* and *Cordia oncocalyx*) were produced with PVA adhesive. Both particleboards had statistically equal results with exception of thickness swelling property, where boards made from Caatinga wood were more stable than *Manilkara* wood. The particleboards were classified as low density, with average values lower than 400 kg.m⁻³, and insulation material, with thermal conductivity lower than 0.20 W.m⁻¹.°C⁻¹. Although the particleboards showed high values of thickness swelling and water absorption and low values of mechanical properties, this is not a limiting factor for the thermal insulation potential of the material and can be improved in the future by using a different adhesive with higher moisture resistant.

Keywords: Thermal conductivity; *Manilkara*; Woods from Caatinga.

¹ Recebido para análise em 18.09.2021. Aceito para publicação em 14.03.2022. Publicado em 10.6.2022.

² Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Agrárias e Florestais, Rua Francisco Mota Bairro, 572, Pres. Costa e Silva, 59625-900, Mossoró, RN, Brasil.

³ Autor para correspondência: vinicius.castro@ufersa.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Painel aglomerado é um termo genérico para descrever compósitos de madeiras particuladas, distribuídas em uma matriz randômica e consolidados com adesivo sob pressão. Mesmo atravessando um cenário de crise econômica mundial em 2019, as vendas de aglomerados foram de 2,8 milhões de m³ no Brasil (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2020). A principal utilização desse tipo de compósito se dá na indústria moveleira, porém suas aplicações podem ser tão vastas quanto as possibilidades e combinações de matérias primas que podem ser usadas em sua produção. E graças às suas propriedades físicas, aglomerados potencialmente podem ser utilizados como isolante térmico (Ismail et al., 2021). O uso de painéis à base de madeira para esse fim agrega a vantagem, sobre os materiais inorgânicos ou a base de petróleo geralmente usados, do baixo impacto ambiental. Também pode ser considerado benefício deste material ser atóxico e biodegradável (Sala-Ruiz et al., 2019).

Mas se a razão do uso de um produto específico é sua sustentabilidade ambiental, todas as variáveis do seu processo de produção devem ser avaliadas. Uma questão crítica é a alta produção de resíduos da cadeia produtiva da indústria madeireira. Por exemplo, o uso da madeira da espécie amazônica *Manilkara* sp. (maçaranduba) é muito popular na região Nordeste do país. Somente no estado do Rio Grande do Norte, no ano de 2016, foi transportado um volume superior a 14.000 m³ desta madeira (Sousa Júnior et al., 2021). Porém, o rendimento médio da *Manilkara* sp. em serraria é de apenas 41,8% (Nascimento et al., 2006). Ou seja, da madeira comercializada legalmente no RN em um ano, mais de 8 mil m³ são refugadas nas formas de costaneira, aparas ou serragem. Assim, torna-se essencial que o uso deste resíduo seja destinado para fins mais nobres do que o descarte ou geração de energia, e neste cenário, a produção de painéis aglomerados isolantes térmicos pode ser uma alternativa.

Contudo, nem todo aglomerado pode ser considerado um bom isolante. Para tal, um dos aspectos que deve ser observado é a densidade do material. Aglomerados são considerados leves quando apresentam densidade abaixo de 600 kg.m³. Há diversas maneiras de se produzir painéis leves, como reduzir a compactação do colchão de partículas ou usar espécies de madeiras de baixa densidade (Monteiro et al., 2019). No caso do uso de resíduos, a possibilidade de se selecionar apenas madeiras de baixa densidade deixa de ser uma

opção. Usando como exemplo a madeira de *Manilkara* sp. supracitada é considerada pesada com densidade aparente em torno de 1.000 kg.m⁻³ (Rosa et al., 2014), que tornaria a manufatura de um aglomerado com densidade abaixo disso impossível. Desta forma, a escolha adequada para a produção do produto desejado é a redução da pressão utilizada.

A indústria usa adesivos sintéticos a base de formaldeído para a consolidação dos aglomerados devido a sua boa adesão e baixo custo (Monteiro et al., 2016). Esse tipo de adesivo exige o uso de prensas quentes que, devido ao alto custo do equipamento, pode encarecer todo o processo de produção e inviabilizar a produção em escala menor que é característica do uso de resíduos como matéria prima. Uma solução seria o uso do adesivo termoplástico de acetato de polivinil (PVA) que, embora seja mais sensível a umidade, por isso limitado a uso interno (Ferreira et al., 2011), cura a frio, possui um baixo custo e ainda é menos poluente por não liberar formaldeído ao meio ambiente.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar painéis aglomerados de baixa densidade consolidados com adesivos PVA, sob baixa pressão e constituídos de partículas provenientes de resíduos típicos de marcenarias da região Nordeste.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos de diferentes espécies de madeira processadas em marcenarias localizadas no município de Mossoró - RN para a fabricação de dois tipos de painéis aglomerados de baixa densidade. Para o primeiro painel, foram utilizados cavacos de *Manilkara* sp. (maçaranduba), madeira amazônica amplamente utilizada na construção civil local. Para o segundo painel, foi utilizada uma mistura de cavacos de três espécies típicas do bioma Caatinga, *Aspidosperma pyrifolium* (pereiro), *Mimosa caesalpiniiifolia* (sabiá) e *Cordia oncocalyx* (pau-branco). Os indivíduos das espécies da Caatinga utilizados foram identificados em uma área manejada, localizada no município de Governador Dix-Sept Rosado -RN, por avaliação das características macromorfológicas e comparação com materiais de referência e consulta bibliográfica. Os indivíduos selecionados foram abatidos e transportados para uma marcenaria experimental.

O resíduo foi obtido em forma de maravalha e reduzido para partículas tipo flake, sendo utilizadas aquelas passantes em peneiras de 8 mesh de abertura

e retidas em de 16 mesh. A razão de esbeltez das partículas (relação entre comprimento e espessura) foi de 10,35 e 12,06 para partículas de madeiras da Caatinga e para maçaranduba, respectivamente. As partículas foram secas em estufa a 80°C por 24h.

Foram misturadas 737g de partículas (baseados no peso seco) com 220g de adesivo tipo PVA (equivalente a 10% do volume de partículas considerando o teor de sólidos do adesivo) adicionado na forma de aspersão para se obter uma mistura homogênea. As partículas foram distribuídas uniformemente em uma caixa formadora de compensado de área basal de 30 x 35 cm para a formação do colchão. A caixa foi fechada e a pressão foi feita com aplicação de quatro grampos de marceneiros até o painel atingir uma espessura de 1,5 cm e mantidos por 48h, período recomendado para cura do adesivo. Foram produzidas três repetições para cada tipo de painel.

Após acondicionados, os painéis foram seccionados para produção de corpos-de-prova com dimensões exigidas pela norma europeia para ensaios de: densidade aparente (EN 323, 1993), inchamento em espessura e absorção de água (EN 317, 1993), módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) (EN 310, 1993).

Para a determinação da condutividade térmica, foi utilizada a metodologia sugerida por Cavalcante e Labaki (2005). Os resultados foram avaliados por meio de análises de variância.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os painéis produzidos com os dois tipos de resíduos de marcenaria obtiveram valores de densidade abaixo de 600 kg.m⁻³, tornando-os aptos

a serem classificados como aglomerados de baixa densidade de acordo com as normas europeias (Tabela 1).

Os valores médios de inchamento em espessura após 2 ou 24 horas de imersão foram as únicas propriedades que apresentaram diferença estatística entre os painéis feitos com resíduos de madeiras da Caatinga daqueles feitos com resíduos de madeira de *Manilkara* sp. A norma europeia define um valor máximo de 15% para inchamento em espessura após 24 h de imersão em água para aglomerados de 1,5 cm que serão submetidos à carga (EN 312, 2003). Nenhum dos painéis atenderam esse requisito, sendo que aqueles produzidos com resíduos de madeiras da Caatinga apresentaram um valor mais próximo. Contudo, a mesma norma não define exigências para painéis utilizados em ambientes secos e usos que não exigem suportar cargas, que seria o caso dos painéis isolantes. Os valores médios do inchamento em espessura após 24 h também foram o suficiente para atender ao requisito comercial americano abaixo de 35% (CS 236, 1968).

Ambos os tratamentos apresentaram valores médios para as propriedades mecânicas extremamente baixos quando comparados com os aglomerados usados em indústria moveleira, pois para este fim, os requisitos mínimos são 13MPa e 1.600 MPa para MOR e MOE, respectivamente (EN 312, 2003). A razão do material apresentar resistências tão baixas está na falta de pressão aplicada, que permitiu a criação de espaços vazios entre as partículas. Porém, baixos valores de MOR e MOE não são fatores limitantes para o uso como material isolante, sendo que a maior porosidade no material gerou valores de condutividade térmica inferiores a 0,25 W.m⁻¹.°C⁻¹.

Tabela 1. Propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos com resíduos de madeiras da Caatinga e de *Manilkara* sp.

Table 1. Physical and mechanical properties of particleboards produced with Caatinga's and *Manilkara* sp. residue woods.

Propriedades	Caatinga	<i>Manilkara</i>
Densidade aparente (kg.m ⁻³)	310	360
IE 2h (%)	14	27*
IE 24h (%)	18	32*
AA 2h (%)	53	57
AA 24h (%)	62	57
MOR (MPa)	0,34	0,27
MOE (MPa)	26,01	28,65
CT (W.m ⁻¹ .°C ⁻¹)	0,18	0,11

Em que: IE 2h = Inchamento em espessura após 2h de imersão em água; IE 24h = Inchamento em espessura após 24h de imersão em água; AA 2h = Absorção de água após 2h de imersão em água; AA 24h = Absorção de água após 24h de imersão em água; MOR = Módulo de Ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; CT = Condutividade térmica; * = valores médios se diferenciam estatisticamente entre os tipos de painel.

In which: IE 2h = Swelling in thickness after 2h of immersion in water; IE 24h = Swelling in thickness after 24h of immersion in water; AA 2h = Water absorption after 2h immersion in water; AA 24h = Water absorption after 24h of immersion in water; MOR = Rupture Module; MOE = Modulus of elasticity; CT = Thermal conductivity; * = Average values differ statistically between panel types.

Valores de condutividade térmica abaixo deste limite permitem que um material seja classificado como isolante (Zhang et al., 2017), e este foi o caso para os dois tipos de painéis produzidos com resíduos de marcenaria.

A substituição dos adesivos formaldeídos por PVA e a redução da pressão aplicada foi eficiente na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. Considerando a densidade média da *Manilkara* sp. e a média das densidades das três espécies da Caatinga utilizadas, a razão de compactação (relação entre densidade do painel e da madeira) dos painéis de *Manilkara* sp. e da Caatinga foram 0,31 e 0,45, respectivamente. Para aglomerados comerciais, o valor de razão de compactação atribuído como mínimo é de 1,3 (Iwakiri, 2005).

O efeito na redução de uma razão de compactação pode ser observado no aumento dos valores de absorção de água. Um valor alto da razão indica que houve maior compactação e que o material terá porosidade reduzida. Menos poroso, o aglomerado consequentemente absorve menos água (Iwakiri et al., 2018). Embora uma alta absorção de água realmente seja uma consequência negativa, a porosidade do material é necessária para que o material seja considerado isolante térmico. Bertolini et al. (2019) reportaram que a condutividade térmica no ar presente em espaços vazios dentro de painéis consolidados com menor pressão é menor do que no material sólido. No caso de painéis de base vegetal, há ainda a porosidade natural da estrutura da madeira que pode influenciar a condutividade térmica ainda mais do que a porosidade do produto final. Com menor pressão, a estrutura anatômica das partículas tende a ser mantida e mantém assim sua capacidade de isolamento.

Uma propriedade física mais importante do que a capacidade de absorção de água, em um produto que não é usado em contato direto com água, é o inchamento em espessura. Essa propriedade define a estabilidade dimensional do painel. Produtos com maior razão de compactação tendem a apresentar valores de inchamentos superiores, porque estes tendem a liberar as tensões de compressão resultantes da prensagem, além do efeito da densidade, uma vez que maior quantidade de partículas possui mais material higroscópico (Iwakiri et al., 2018). Desta forma, para fins de comparação, somente faz sentido analisar painéis de densidade semelhantes ao produzidos neste trabalho. Monteiro et al. (2019) produziram um aglomerado de madeira reciclada aglutinados com amido de mandioca com densidade 318 kg.m⁻³ e observaram um inchamento em espessura após 24 h de 17,4%. Xu et al. (2004) avaliaram painéis feitos

de hibisco e sem adesivo com densidades próximas de 300 kg.m⁻³ e relataram inchamentos abaixo de 15%. Os altos valores dos painéis apresentados neste trabalho, em comparação com os da literatura, podem ser atribuídos ao tipo de adesivo usado. Há outros relatos que apontam que a baixa resistência do PVA à umidade afeta a estabilidade e limita sua utilização somente a locais secos (Kravchenko et al., 2015). Porém, Xu et al. (2004) atribuíram o baixo inchamento de seus painéis, entre outros fatores, ao uso do método de pressão sob vapor, que eventualmente degradou termicamente a hemicelulose do material vegetal. Hemiceluloses são carboidratos formadores da parede celular da madeira que possuem hidroxilas livres. A absorção de água, e consequentemente o inchamento da madeira, ocorre quando moléculas de água da atmosfera se ligam às hidroxilas livres presentes na parede celular. Assim, uma possível solução para se reduzir a instabilidade dimensional dos painéis feitos de resíduos de marcenaria seria o tratamento químico das partículas para redução do teor de hemicelulose do material.

Os valores médios das propriedades mecânicas MOR e MOE tendem a aumentar de forma quase linear com a densidade de painéis leves (Xu et al., 2004). Os painéis de resíduo de marcenaria apresentaram valores médios de MOR semelhantes ao 0,215 MPa apresentado por Salas-Ruiz et al. (2019) para painéis feitos com a espécie aquática *Eichhornia crassipes* com densidade de 251 kg.m⁻³. Contudo, Bertolini et al. (2019) apontaram que painéis de madeira voltados para isolamento térmico deveriam, de acordo com normas americanas, ter valores mínimos de MOR e MOE de 1,55 MPa e 276 MPa, respectivamente, embora as propriedades mecânicas não sejam o mais importante para produtos termo acústicos. Para haver melhora mecânica nos painéis, se houver necessidade de se atender norma americana, seria necessário repensar o adesivo utilizado.

Os valores de condutividade térmica foram semelhantes aos dos painéis isolantes feitos com madeira de *Pinus* com densidade entre 550 e 590 kg.cm⁻³ (0,11 W.m⁻¹.°C⁻¹) (Bertolinni et al., 2019). Os valores também foram proporcionais ao de painéis feitos com partículas de bambu de diferentes tamanhos com densidades entre 800 e 850 kg.cm⁻³, que apresentaram valores na literatura entre 0,12 e 0,16 W.m⁻¹.°C⁻¹ (Zhang et al., 2017). Nota-se que a condutividade térmica em aglomerados é afetada por diversos fatores e não somente a densidade. Zhang et al. (2017) apontaram que o tamanho da partícula influencia a propriedade, partículas menores tendem a se compactar mais e diminuir a porosidade, sem necessariamente afetar a

densidade. Berardi e Naldi (2017) ressaltaram ainda a influência de fatores ambientais. A temperatura e umidade relativa em que os materiais isolantes estão sendo testados ou usados afetam a condutividade.

No caso de produtos de madeira, que são higroscópicos e porosos, essa influência pode ser ainda mais crítica, pois mudanças no estado da água afetam diretamente as propriedades térmicas do material.

De acordo com tabelas de comparação de materiais isolantes apresentados por Xu et al. (2004) e Zhang et al. (2017), os painéis produzidos neste trabalho são mais eficientes do que produtos como concreto ($1,4 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) e encontram-se na mesma categoria de madeira de *Pinus* ($0,151 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$), betões leves ($0,155 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$), painéis de fibra de coco ($0,132 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$) ou chapas duras ($0,126 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$).

4 CONCLUSÕES

É possível produzir painéis aglomerados isolantes de baixa densidade utilizando resíduos de marcenarias típicas da região Nordeste do país com metodologia de produção manual, sem a necessidade de altos investimentos em equipamentos como prensa hidráulica. Tanto o uso de resíduos de madeiras de *Manilkara* sp., amplamente comercializada na região, ou de madeiras nativas da Caatinga foram capazes de produzir painéis com densidade abaixo de 400 kg.m^{-3} e valores de condução térmica inferiores a $20 \text{ W.m}^{-1}.\text{°C}^{-1}$. Valores elevados de inchamento de espessura e absorção de água e valores reduzidos de MOR e MOE não afetaram seu potencial de uso como isolante, mas poderiam ser melhorados com uso de adesivos de cura fria com maior resistência à umidade do que o PVA utilizado nesse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERARDI, U.; NALDI, M. The impact of the temperature dependent thermal conductivity of insulating materials on the effective building envelope performance. **Energy and Building**, v.144, p.262-275, 2017.

BERTOLINNI, M.S. et al. Acoustic absorption and thermal insulation of wood panels: influence of porosity. **Bioresources**, v.14, n.2, p. 3746-3757, 2019.

CAVALCANTE, F.G.; LABAKI, L.C. Um método simples de medida de condutividade térmica de materiais de construção, para laboratórios de ensino. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente CONSTRuído, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 415-422.

CS-236 - COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard**, 1968.

EN 310 - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. 1993.

EN 312 - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Particleboards - specifications**. 2003.

EN 317 - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Aglomerado de partículas de madeira e aglomerado de fibras de madeira – Determinação do inchaço na espessura depois da imersão em água**. 1993.

EN 323 - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Wood-based panels – Determination of density**. 1993.

FERREIRA, B.S.; SILVA, M.S.; CAMPOS, C.I. Análise do desempenho físico-mecânico de compensados produzidos com adesivos a base de PVA. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**, v. 12, n. 29, p.13-22, 2011.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório Anual 2020**. Brasília, DF: IBÁ, 2020. 122 p.

ISMAIL, I. et al. Thermal conductivity of rice straw polypropylene. **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering**, v. 1087, n. 1, p. 012073, 2021.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba. FUPEF, 2005. 196 p.

IWAKIRI, S. et al. Painéis aglomerados produzidos com seis espécies de madeira tropicais da Amazônia. **Maderas y Bosques**, v.24, n.3, p.e243371, 2018.

KRAVCHENKO, G.A.; FERREIRA, E.M.; PASQUALETTO, A. Aproveitamento de resíduos na produção de chapas recompostas. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n.21, p.1499-1507, 2015.

MONTEIRO, S. et al. Low density wood-based particleboards bonded with foamable sour cassava starch: preliminary studies. **Polymers**, v. 8, p.354-365, 2016.

MONTEIRO, S. et al. Low density wood particleboards bonded with starch foam – study of production process conditions. **Materials**, v. 12, p.1975-1989, 2019.

NASCIMENTO, S.M.; DUTRA, R.I.J.P.; NUMAZAWA, S. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Holos**, v.6, n.1, p.8-21, 2006.

ROSA, R.A. et al. Caracterização da madeira de maçaranduba (*Manilkara* sp.) por métodos destrutivos e não destrutivos. **Ciência da Madeira**, v. 5, n. 1, p. 68-78, 2014.

SALA-RUIZ, A.; BARBERO-BARRERA, M.M.; RUIZ-TÉLLEZ, T. Microstructural and thermo-physical characterization of a water hyacinth petiole for thermal insulation particle board manufacture. **Materials**, v. 12, p.560-576, 2019.

SOUSA JÚNIOR, A.D.; CANTO, J.L.; COSTA, W.P.L.B. Produtos florestais nativos, legalizados e comercializados no Rio Grande do Norte”. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 1, p.e26779, 2021.

XU, J. et al. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. **Journal of Wood Science**, v. 50, p.62-67, 2004.

ZHANG, S. et al. Thermal insulation boards from bamboo paper sludge. **Bioresources**, v. 12, n. 1, p. 56-67, 2017.