

Article

# Economia Circular de Painéis de Fibra de Densidade Média (MDF) e Painéis de Partículas de Média Densidade (MDP): Desafios e Avanços em Sustentabilidade e Processos Produtivos

Gabriel Garcia Gonçalves<sup>1</sup>, Lucas Danilo Dias<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestrando em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente (PPGSTMA). Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0009-0006-0233-0160. E-mail: gggoncalves@tjgo.jus.br

<sup>2</sup> Doutor em Química. Docente na Universidade Evangélica de Goiás. ORCID: 0000-0003-2858-7539. E-mail: lucasdanillodias@gmail.com

## RESUMO

A indústria de painéis à base de madeira, MDF (*Medium-Density Fiberboard*) e o MDP (*Medium-Density Particleboard*), tem um papel fundamental no setor da construção civil e indústria moveleira, bem como contribuindo para o aproveitamento de resíduos e o armazenamento de carbono. Entretanto, desafios como o desgaste ambiental da produção, uso de resinas sintéticas tóxicas e limitações na reutilização desses materiais têm gerado crescente interesse por medidas mais sustentáveis. O presente estudo visa revisar a literatura no período de 1945-2024 sobre os aspectos ambientais, tecnológicos e de sustentabilidade destes materiais, buscando a identificação de medidas para otimizar a reutilização, minimizar os impactos ambientais e inovar com práticas de economia circular. Foi realizada uma revisão narrativa, utilizando a plataforma Web of Science, de estudos que avaliam o ciclo de vida de MDF e MDP. O estudo destacou aspectos como impactos ambientais, viabilidade técnica e inovação com uso de tecnologia aplicada, fazendo uso de uma abordagem integrativa e crítica dos resultados alcançados. Os resultados destacaram que a substituição de resinas sintéticas por alternativas biodegradáveis, como adesivos à base de algas *Ulva*, e a utilização de resíduos de papel no MDF, mostraram-se estratégias eficazes para reduzir emissões de carbono e toxicidade ambiental. A reutilização de resíduos de MDF por meio de processos como a hidrólise térmica permitiu recuperar fibras utilizáveis, apesar de desafios técnicos relacionados à manutenção de propriedades mecânicas. A análise evidenciou que MDF e MDP possuem grande potencial de desenvolvimento por meio da aplicação das práticas de economia circular e novidades tecnológicas. Estratégias como a reciclagem de fibras, o uso de adesivos biodegradáveis e a valorização de resíduos industriais são soluções promissoras para diminuir os impactos ambientais e atender às demandas do plano de sustentabilidade e a agenda 2030.

**Palavras-chave:** painéis de fibra de densidade média; painéis de partículas de média densidade; ciclo de vida; reutilização.

## ABSTRACT

The wood-based panel industry, MDF (*Medium-Density Fiberboard*) and MDP (*Medium-Density Particleboard*), play a fundamental role in the construction sector and mobile industry, as well as contributing to the use of waste and carbon storage. However, challenges such as the environmental stress of production, the use of synthetic, toxic resins and limitations in the reuse of these materials have generated growing interest in more sustainable measures. The present study aims to review the literature in the period 1945-2024 on the environmental, technological and sustainability aspects of these materials, seeking to identify measures to improve reuse, minimize environmental impacts and innovate with circular economy practices. A narrative review was carried out, using the Web of Science platform, of studies that evaluate the life cycle of MDF and MDP. The study highlighted aspects such as environmental impacts, technical feasibility and innovation using applied technology, using an integrative and critical approach to the results achieved. The results highlighted that the replacement of synthetic resins with biodegradable alternatives, such as *Ulva* algae-based adhesives, and the use of paper waste in MDF, proved to be effective strategies for reducing carbon emissions and environmental toxicity. The reuse of MDF waste through processes such as thermal hydrolysis has allowed us to recover usable fibers, despite technical challenges related to maintaining mechanical properties. The analysis showed that MDF and MDP have great development potential through



Submissão: 02/03/2025



Aceite: 29/07/2025



Publicação: 04/09/2025



the application of circular economic practices and technological innovations. Strategies such as fiber recycling, the use of biodegradable adhesives and the recovery of industrial waste are promising solutions to reduce environmental impacts and meet the demands of the sustainability plan and the 2030 agenda.

**Keywords:** medium density particleboard; medium density fiberboard; lyfe cycle; reuse.

## Introdução

A indústria de Painéis de Fibra de Densidade Média (do inglês *Medium-Density Fiberboard*, MDF) e Painéis de Partículas de Média Densidade (do inglês *Medium-Density Particleboard*, MDP) desempenha um papel importante no desenvolvimento sustentável das florestas, contribuindo para a valorização de resíduos de madeira e espécies de valor econômico irrelevante. Painéis como o MDF têm sido fundamentais para o armazenamento de carbono, com aplicações que permitem a retenção desse elemento por décadas, dependendo do uso final (Garcia et al. 2024).

No Brasil, um dos maiores fabricantes de MDF do mundo, a importância desse setor é nítida (Piekarski et al. 2017). Com base nas informações do relatório 2019 da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), o Brasil se posiciona em 8º lugar numa escala mundial de fabricação de MDF, com um crescimento notável na última década, impulsionado pelo aumento do consumo interno e pela expansão no mercado internacional (Figura 1).

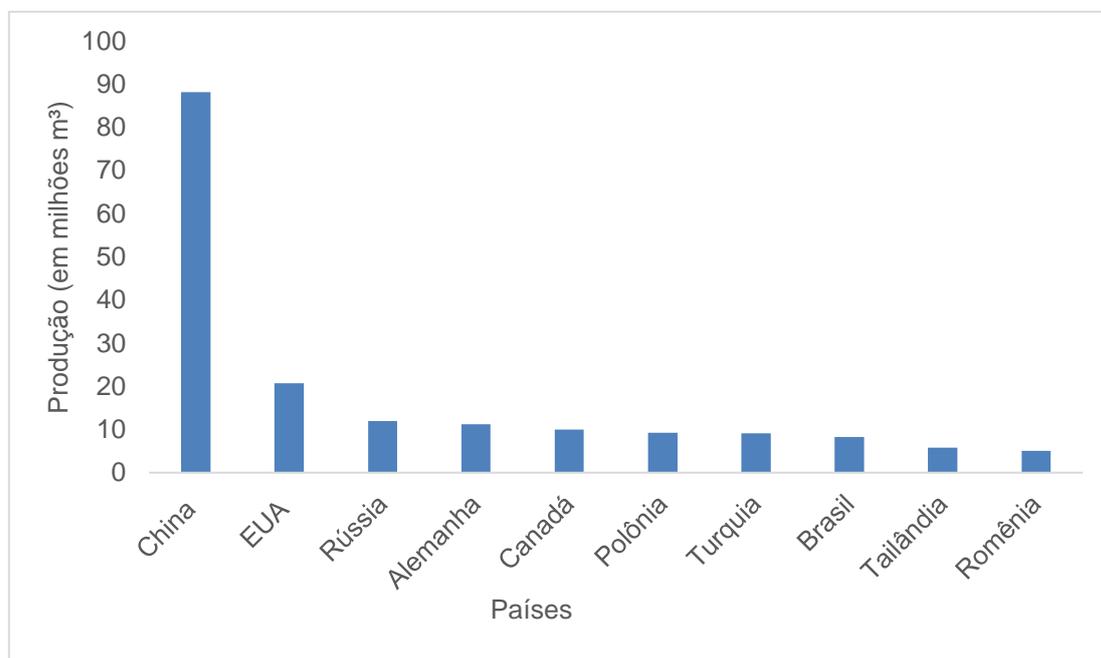


Figura 1 - Principais Produtores Mundiais de Painéis de Madeira Reconstituída. Fonte: Relatório de 2019 da Indústria Brasileira de Árvores (2019).

Considerando a alta demanda, a produção desses painéis enfrenta hoje desafios relevantes, principalmente relacionados à eficiência energética e ao uso de materiais químicos, como as resinas à base de formaldeído, que apresentam impactos ambientais e à saúde humana. O processo de fabricação de MDF no Brasil ainda é altamente dependente de combustíveis fósseis na etapa de secagem da fibra de madeira, o que contribui significativamente para as emissões de gases de efeito estufa (Piekarski et al. 2014).

Acerca disso, Farage et al. (2013) aponta que os resíduos gerados durante a fabricação e no descarte ao final do ciclo de vida carecem de estratégias integradas de reaproveitamento, representando um passivo ambiental significativo. Alinhado a esse entendimento, Chu e Kumar (2020) destacam que as emissões de poluentes industriais, incluindo compostos orgânicos voláteis (COV) e poeiras, são aspectos críticos a serem



tratados na cadeia de produção de painéis de madeira, especialmente no contexto de economias emergentes. Nesse sentido, a aplicação de metodologias como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido amplamente discutida na literatura especialmente em estudos que buscam identificar os pontos críticos ambientais ao longo da cadeia produtiva (Piekarski et al 2013; DAL Silva, RP Garcia, FMCS Freire 2013; IA Simões 2021). A aplicação da ACV possibilita a identificação de pontos críticos no processo produtivo, permitindo a proposição de melhorias tecnológicas e estratégias mais sustentáveis, como a substituição de fontes de energia fósseis por alternativas renováveis e o uso de resinas com menor impacto ambiental (Costa et al. 2024).

Assim, o presente estudo tem como principal objetivo revisar os estudos que exploram, ao longo dos anos, os aspectos ambientais, tecnológicos e de sustentabilidade relacionados à produção de painéis à base de madeira, com foco em identificar oportunidades de inovação e circularidade que promovam a eficiência no uso de recursos e a redução de impactos ambientais, considerando especialmente o contexto brasileiro.

## Metodologia

A pesquisa na literatura foi realizada na base de dados internacional *Web of Science*, no período de 1945-2024. Os seguintes descritores e combinações foram aplicados: "Medium Density Particleboard" AND "Circular Economy" "Medium Density Fiberboard" AND "Circular Economy". Foram incluídos artigos que abordassem explicitamente a economia circular aplicada a MDP e MDF, publicados entre 1945 e 2024. Os artigos que não tratavam diretamente da relação entre economia circular e os materiais mencionados não foram considerados no presente artigo.

## Resultados e Discussão

A análise dos estudos revisados demonstra avanços importantes no desenvolvimento do MDF (Medium-Density Fiberboard) e do MDP (Medium-Density Particleboard), especialmente sob o prisma da sustentabilidade, inovação tecnológica e reutilização. Esses materiais, amplamente utilizados em setores como construção civil e fabricação de móveis planejados residenciais ou corporativos, destacam-se como soluções eficientes para o aproveitamento de resíduos industriais e redução dos impactos ambientais, bem como para o cumprimento dos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU, 2025).

A reutilização de fibras provenientes de resíduos industriais tem se mostrado uma estratégia promissora para a produção de MDF e MDP. No estudo realizado por Zeng et al. (2018), observou-se que as fibras recicladas de MDF podem melhorar a estabilidade dimensional e a resistência à água dos painéis. Apesar de apresentar uma leve redução em propriedades como o módulo de elasticidade e a resistência à flexão quando comparadas a painéis fabricados com materiais virgens, a utilização de fibras recicladas reforça o potencial de resíduos industriais para a fabricação de novos produtos. Esse método também reduz a dependência de matérias-primas virgens, contribuindo para a conservação de florestas e a diminuição de impactos ambientais associados ao setor de fabricação de painéis de madeira.

Nesse sentido, tais práticas contribuem diretamente para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A reutilização de fibras promove o consumo e a produção responsáveis (ODS 12), ao reduzir a demanda por matérias-primas virgens. Indiretamente, essa redução no uso de recursos naturais pode mitigar impactos ambientais associados à extração, beneficiamento e descarte inadequado de resíduos, o que contribui para a mitigação das mudanças climáticas (ODS 13), bem como para a conservação dos ecossistemas marinhos (ODS 14) e terrestres (ODS 15), ao minimizar a poluição e a degradação ambiental. Essas ações alinham-se, ainda, à promoção de maior produtividade e eficiência econômica.



Outro avanço significativo na reutilização de materiais foi apresentado por Ashori et al. (2024), que investigaram o uso de lodo de papel como substituto parcial de fibras de madeira em MDF. A pesquisa indicou que a formulação ideal, contendo 20% de iodo combinado com 12% de resina, resulta em um equilíbrio entre custo, desempenho e sustentabilidade. Essa abordagem é uma solução viável tanto para a gestão de resíduos da indústria de papel quanto para a produção de MDF mais sustentável. Além disso, ao utilizar subprodutos como matéria-prima, reduz-se os impactos sobre os recursos naturais e promove-se a economia circular, fortalecendo a cadeia produtiva de materiais de construção.

No contexto do aproveitamento energético e valorização de resíduos, Rodríguez et al. (2023) exploraram a impregnação de materiais de mudança de fase (PCMs – *Phase Change Materials*) em resíduos de MDF. Essa técnica visa não apenas reaproveitar os resíduos, mas também criar um material com alta capacidade de armazenamento de energia térmica, sendo ideal para aplicações em edifícios. Os PCMs, ao armazenarem calor durante o dia e liberarem-no à noite, podem reduzir a demanda por sistemas de aquecimento e refrigeração, promovendo maior eficiência energética em construções. Essa abordagem ilustra como resíduos industriais podem ser transformados em produtos de alto valor agregado, alinhado à proposta da sustentabilidade.

Outro desafio relevante no setor de MDF e MDP é a substituição de adesivos à base de formaldeído, amplamente utilizados, mas associados a impactos ambientais e preocupações com a saúde humana. Grandgeorge et al. (2024) apresentaram uma inovação ao utilizar algas *Ulva* (tipo de alga verde amplamente disponível, como adesivo sustentável na fabricação de painéis de madeira) como adesivo natural na produção de painéis de madeira. Os resultados mostraram que os painéis ligados por *Ulva* apresentaram melhorias significativas em resistência mecânica, resistência à água e propriedades de retardo na propagação de chamas. Além disso, esse adesivo natural é biodegradável, reduzindo o impacto ambiental do material final e oferecendo uma alternativa viável e sustentável às resinas sintéticas. Essa inovação destaca o potencial de materiais renováveis no avanço da indústria de painéis.

No mesmo sentido, Czarnecka-Komorowska et al. (2024) exploraram a fabricação de biocompósitos biodegradáveis utilizando resíduos de produção de madeira em combinação com álcool polivinílico (PVA) e outras matrizes poliméricas. Esses materiais demonstraram alta resistência mecânica e são adequados para aplicações em construção, substituindo materiais tradicionais de maior impacto ambiental. A pesquisa ressalta a importância de aproveitar resíduos industriais como insumos para produtos inovadores e sustentáveis, promovendo uma abordagem de ciclo fechado dentro da indústria de materiais.

A implementação de estratégias de economia circular na cadeia produtiva de painéis MDF e MDP apresenta benefícios relevantes, sobretudo na redução do desperdício e na valorização de resíduos industriais. Esses painéis são majoritariamente produzidos a partir de resíduos da indústria madeireira e papelaria, não estando diretamente associados à extração de madeira virgem. Nesse contexto, a adoção de práticas circulares, como o reaproveitamento de painéis descartados e o aumento de sua vida útil, contribui para a mitigação de impactos ambientais relacionados à geração de resíduos sólidos e ao acúmulo de passivos ambientais. Além disso, o uso de adesivos ambientalmente inócuos e a incorporação de matrizes poliméricas biodegradáveis podem reduzir o quantitativo de carbono associada à produção desses materiais, especialmente nos processos que envolvem consumo intensivo de energia térmica. Embora não exista uma correlação direta entre a economia circular nesse setor e o sequestro de carbono florestal, tais práticas reforçam a lógica do uso eficiente de recursos e da minimização de impactos, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade.

Contribuindo com esse entendimento, Savov et al. (2023) investigaram o impacto de regimes de hidrólise térmica na reciclagem de MDF. Os resultados indicaram que, ao ajustar os parâmetros de hidrólise, é possível reduzir significativamente as emissões de formaldeído associadas ao processo de reciclagem, embora desafios técnicos ainda precisem ser superados para preservar as propriedades mecânicas dos painéis reciclados. Essa



abordagem, combinada com inovações tecnológicas, reforça o papel da economia circular na transformação da indústria de painéis de madeira.

Os estudos analisados reforçam que MDF e MDP continuam a evoluir como materiais essenciais para indústrias que buscam aliar alto desempenho e sustentabilidade. Estratégias como a reciclagem de fibras, a utilização de adesivos naturais e a incorporação de resíduos industriais demonstram a viabilidade de transformar desafios ambientais em oportunidades de inovação. Apesar dos desafios, como a manutenção das propriedades mecânicas em materiais reciclados, os avanços apresentados evidenciam um caminho promissor para o setor. A adoção de práticas mais sustentáveis e tecnológicas não apenas atende às demandas ambientais, mas também posiciona o MDF e o MDP como protagonistas em uma economia circular.

## Conclusão

O presente estudo revisou os avanços recentes no desenvolvimento, reutilização e aplicação de MDF (*Medium-Density Fiberboard*) e MDP (*Medium-Density Particleboard*), destacando a evolução técnica e os esforços para promover a sustentabilidade nesses materiais amplamente utilizados. Os resultados evidenciaram que práticas de reciclagem, inovação em adesivos e o uso de resíduos como matéria-prima têm potencial para transformar a indústria de painéis de madeira, alinhando-a aos princípios da economia circular.

A reciclagem de MDF mostrou-se uma estratégia promissora para reduzir resíduos industriais e ampliar a viabilidade do uso destes materiais ao longo do tempo. Foi demonstrado que fibras recicladas de MDF podem manter propriedades técnicas adequadas, especialmente quando associadas a processos como a hidrólise térmica para remoção de resinas e recuperação de fibras. Por outro lado, a utilização de resíduos de papel apresentou resultados significativos na fabricação de painéis com equilíbrio entre custo, desempenho técnico e sustentabilidade. A substituição de adesivos tradicionais por alternativas biodegradáveis e sustentáveis, reforça a possibilidade de reduzir os impactos ambientais e aumentar a segurança no uso de painéis de madeira. No mesmo caminho, a aplicação de materiais como algas *Ulva* e outras fontes naturais mostrou-se eficiente em melhorar a adesão, a resistência à umidade e ao retardo na propagação de chamas. Além disso, os biocompósitos desenvolvidos com matrizes poliméricas biodegradáveis e reforços naturais, destacaram-se por suas propriedades mecânicas robustas e baixo impacto ambiental.

O aproveitamento de resíduos, ao incorporar materiais de mudança de fase em resíduos de MDF, representa uma opção relevante para criar produtos de alto valor agregado e aumentar a eficiência energética em aplicações de construção. Os avanços revisados apontam para um futuro promissor na indústria de painéis de madeira, onde a integração de práticas de reciclagem, desenvolvimento de adesivos sustentáveis e inovação tecnológica podem transformar desafios ambientais em oportunidades. No entanto, desafios permanecem, como a preservação das propriedades mecânicas dos materiais reciclados e a viabilidade econômica de novos processos.

## Agradecimentos

G.G.G agradece a Universidade Evangélica de Goiás (UniEvangélica) pelo incentivo financeiro no âmbito da realização do mestrado no Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente. Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) (201810267001556 e Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade: Estreitamento entre Universidade e Setor Produtivo no Estado de Goiás. Convênio para pesquisa, desenvolvimento e inovação — PD&I 07/2020, chamada pública nº 04/2023 — programa de auxílio à pesquisa científica e tecnológica — aquisição de equipamentos, Chamada Pública FAPEG 12/2023 CAPES/FAPEG — Rede de pesquisa e desenvolvimento da região centro-oeste - 202410267000982, FAPEG edital 21/2024 – Chamada Pública de Auxílio – 2024), Conselho Nacional de



Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (Bolsa de Produtividade/303307/2025-0), Projeto Inova Talentos (IEL/CNPq/Laboratório Teuto), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (88887.710665/2022-00, 8887.820460/2023-00).

### Referências Bibliográficas

Ashori A, Najafi SHM, Heydari V, Besharatifar K, Taskouh HS, Maghsoodi D 2024. Utilizing de-inked paper sludge for sustainable production of medium-density fiberboard: A comprehensive study. *Polymer Composites* 45:6359–6373.

Chu J, Kumar A 2020. Assessment of wood industrial pollutants based on emission coefficients in China. *Holzforschung* 74:551–561.

Czarnecka-Komorowska D, Wachowiak D, Gizelski K, Kanciak W, Ondrušová D, Pajtášová M 2024. Sustainable composites containing post-production wood waste as a key element of the circular economy: Processing and physicochemical properties. *Sustainability* 16:1370.

Costa D., Serra J., Quinteiro P., Dias A.C., 2024. Life cycle assessment of wood-based panels: A review. *Journal of Cleaner Production* 10:0959-6526.

Farage R.M.P, Rezende A.A.P, Silva C.M, Nunes W.G, Carneiro A.C.O. Vieira D.B, Rodrigues C.L.S 2013. Evaluation of energy use potential of wood residues and derivatives generated in the industrial furniture stave of ubá – Minas Gerais state. *Ciênc. Florest.* 23: 0103-9954.

Garcia R, Calvez I, Koubaa A, Landry V, Cloutier A 2024. Sustainability, circularity, and innovation in wood-based panel manufacturing in the 2020s: Opportunities and challenges. *Current Forestry Reports* 10:420–441.

Grandgeorge P., Campbell I.R., Nguyen H., Brain R., Parker M., Edmundson S., Rose D., Homolke K., Subban C., Roumeli E. 2024. Adhesion in thermomechanically processed seaweed-lignocellulosic composite materials. *MRS bulletin* (49): 787-801.

Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2019. São Paulo: Ibá, 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 20 de fev de 2025.

Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 de fev de 2025.

Piekarski C.M, Francisco, A.C, Luz L.M, Kovalski J.L, Silva D.A.L. 2017. Life cycle assessment of medium-density fiberboard (MDF) manufacturing process in Brazil. *Science of The Total Environmental* 575: 103-111.

Piekarski C.M., Francisco, A.C., Luz L.M., Alvarenga T.H.P., Bittencourt, J.V.M., 2014. Environmental profile analysis of MDF panels production: study in a brazilian technological condition. *Cerne* 20 (3), 409–418.

Rodríguez GE, Bustos Ávila C, Romero R, Cloutier A 2023. Impregnation of medium-density fiberboard residues with phase change materials for efficient thermal energy storage. *Forests* 14:2175.



Savov V, Antov P, Panchev C, Lubis MAR, Taghiyari HR, Lee SH, Křišťák L, Todorova M 2023. The impact of hydrolysis regime on the physical and mechanical characteristics of medium-density fiberboards manufactured from recycled wood fibers. *Fibers* 11:103.

Silva, D.A.L., Lahr, F., Garcia, R., Freire, F., Ometto, A., 2013. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18 (7), 1404–1411.

Zeng Q, Lu Q, Zhou Y, Chen N, Rao J, Fan M 2018. Circular development of recycled natural fibers from medium density fiberboard wastes. *Journal of Cleaner Production* 202:456–464.