



2023

Compósitos madeira-plástico: tecnologia associada à sustentabilidade

Juliana Zadi de Brito ^a; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluna de Graduação em Engenharia Civil, juliana.zadi@ufms.br

^b Professora Orientadora, Doutora, christiane.trindade@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo sobre os compósitos madeira-plástico e sua relevância como uma alternativa sustentável na indústria. O objetivo deste estudo foi realizar um levantamento bibliográfico sobre os conceitos envolvidos nessa área, destacando suas implicações positivas ao meio ambiente. O artigo apresenta informações sobre a história, composição, processo de produção, vantagens, desvantagens e aplicações desse produto. O método utilizado para a elaboração deste estudo foi uma busca acadêmica de publicações, utilizando bases de dados como o Portal de Periódicos da CAPES e o Google Acadêmico. O artigo aborda as diversas aplicações dos compósitos madeira-plástico, o que demonstra a versatilidade e a adaptabilidade desses materiais em diferentes setores industriais, ressaltando suas propriedades favoráveis devido à sua composição e seu potencial para reduzir o impacto ambiental. O estudo reforça a valorização de materiais renováveis e não renováveis e evidencia a necessidade de investimentos e pesquisas nessa área, como a otimização dos processos de produção e a melhoria nas propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Compósitos madeira-plástico, sustentabilidade, madeira plástica, eco compósito, reciclagem.

ABSTRACT

This article presents a study on wood-plastic composites and their relevance as a sustainable alternative in the industry. The objective of this study was to conduct a literature review on the concepts involved in this field, highlighting their positive implications for the environment. The article provides information about the history, composition, production process, advantages, disadvantages, and applications for this product. The method used to develop this study was academic research of publications, using databases such as the CAPES Periodicals Portal and Google Scholar. The article addresses the various applications of wood-plastic composites, demonstrating the versatility and adaptability of these materials in different industrial sectors, highlighting their favorable properties due to their composition and potential to reduce environmental impact. The study reinforces the value of renewable and non-renewable materials and emphasizes the need for investments and research in this field, such as optimizing production processes and improving mechanical properties.

Keywords: Wood-plastic composites, sustainability, plastic wood, eco-composites, recycling.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são formados pela combinação de dois ou mais materiais diferentes para criar um material com propriedades únicas, como alta resistência, baixo peso, resistência à corrosão e à fadiga, e a capacidade de serem moldados em formas complexas. Devido à essas propriedades, são amplamente utilizados em muitas indústrias diferentes (Brigante, 2014).

As fibras de madeira são consideradas uma alternativa ao uso de fibras inorgânicas, e oferecem várias vantagens. As fibras de madeira são renováveis por serem derivadas de recursos naturais, além disso, essas fibras possuem propriedades mecânicas favoráveis, como alta resistência e rigidez, o que contribui para o desempenho geral dos compósitos (Sobczak; Lang; Haider, 2012).

A utilização de compósitos de polipropileno com farinha de madeira pela indústria automobilística é conhecida desde a década de 70, e foram

denominados *Woodstock*®, esse material começou a ser empregado na fabricação de revestimentos internos de portas e porta-malas de veículos. Durante pelo menos três décadas, a tecnologia do *Woodstock*® foi dominada por alguns técnicos especialistas, sem grande interesse acadêmico no assunto. No entanto, a partir dos anos 90, surgiram trabalhos acadêmicos nos Estados Unidos, acompanhados por um grande número de patentes registradas por grandes corporações do mercado automobilístico e de construção civil. Esses estudos relacionaram a utilização de resíduos de papel e madeira como cargas para termoplásticos (Correa et al., 2003).

Nos últimos anos houve um aumento significativo no interesse pela utilização de compósitos madeira-plástico (CMP), popularmente conhecida como madeira plástica. Isso se deve em grande parte à crescente preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de encontrar alternativas mais ecológicas para materiais de construção convencionais. Além disso, a utilização de plásticos reciclados na produção de CMP tem se mostrado uma opção promissora, devido ao baixo custo e grande volume desses materiais. Vários estudos têm sido realizados para avaliar suas propriedades físicas e mecânicas, e os resultados são encorajadores (Najafi, 2013).

Os resíduos provenientes das indústrias de transformação de madeira têm sido amplamente utilizados como reforço em matrizes poliméricas para produzir a madeira plástica. Alguns exemplos desses resíduos incluem aparas e lascas de madeira, serragem e cascas de árvore, e esses materiais são combinados com polímeros, como polietileno, polipropileno e policloreto de vinila para produzir compósitos de madeira e plástico com propriedades mecânicas e físicas aprimoradas. O uso desses resíduos como reforço em matrizes poliméricas não apenas reduz o desperdício de materiais, mas também oferece uma alternativa sustentável aos materiais tradicionais de construção (Teuber et al., 2016).

A madeira plástica é um produto que vem substituindo a madeira natural em algumas aplicações, oferecendo várias vantagens, o que tem contribuído para sua crescente aceitação no mercado. Uma das principais vantagens é sua resistência a insetos, apodrecimento, umidade e muitos produtos químicos. Ao contrário da madeira natural, a madeira plástica não requer tratamentos químicos para manter suas propriedades, tornando-se uma opção mais durável e de baixa manutenção. No entanto, é importante ressaltar que os compósitos madeira-plástico podem ter propriedades físicas e mecânicas diferentes da madeira natural, o que pode afetar sua

aplicação em algumas situações (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

O objetivo do presente estudo foi realizar um levantamento bibliográfico sobre os conceitos envolvidos na área de materiais compósitos madeira-plástico e apresentar suas implicações positivas ao meio ambiente, reunindo informações referentes a história, sua composição, processo de produção, vantagens, desvantagens e aplicações do produto.

2. MÉTODO

Este artigo foi produzido a partir de uma busca acadêmica de publicações, utilizando principalmente as bases de dados do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a ferramenta de pesquisa Google Acadêmico, considerando o período de 2000 a 2023. Para a realização da pesquisa, foram utilizadas as palavras chave: wood plastic composites, madeira plástica, compósitos termoplásticos, biocomposites, composite materials, natural fiber composites, polímeros, plastic lumber e materiais compósitos. A lista de materiais selecionados foi analisada e as publicações que foram julgadas não pertinentes ao objetivo deste artigo foram excluídas.

3. MATERIAIS COMPÓSITOS

Os materiais compósitos são utilizados em diversas indústrias, como aeroespacial, automotiva, construção civil, naval e esportiva. Eles são escolhidos por suas propriedades únicas, como alta resistência e rigidez combinadas com baixo peso. Os compósitos também podem ser moldados em formas complexas e personalizadas para atender às necessidades específicas de cada aplicação (Brigante, 2014).

Segundo Callister e Rethwisch (2016) materiais compósitos são materiais compostos por duas ou mais fases distintas, geralmente uma fase contínua (matriz) e uma fase dispersa (reforço), que são combinadas para produzir um material com propriedades superiores às das fases individuais.

Os compósitos são classificados em quatro divisões principais: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras, compósitos estruturais e nanocompósitos. A fase dispersa nos compósitos reforçados com partículas tem forma equiaxial (isto é, as partículas possuem dimensões semelhantes em todas as direções); nos compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa apresenta a geometria de uma fibra (isto é, uma grande razão entre

o comprimento e o diâmetro). Os compósitos estruturais possuem camadas múltiplas e são projetados para apresentar baixa massa específica e alto grau de integridade estrutural. Nos nanocompósitos, as partículas da fase dispersa têm dimensões da ordem de nanômetros (Callister; Rethwisch, 2016).

A função da fase de reforço é fornecer resistência mecânica ao material, e também pode ajudar a melhorar outras propriedades do compósito, como a resistência à fadiga, à corrosão e à temperatura. Já a matriz é responsável por manter a fase de reforço no lugar e distribuir uniformemente as cargas aplicadas para as fibras ou partículas de reforço, o que ajuda a maximizar a resistência do material. Além disso, protege a fase de reforço contra danos ambientais, como umidade e radiação UV. Outra função importante da matriz é ajudar a controlar o comportamento do compósito sob diferentes condições de carga, por exemplo, uma matriz mais rígida pode ajudar a aumentar a rigidez geral do compósito, enquanto uma matriz mais flexível pode ajudar a melhorar sua resistência à fadiga (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

Os materiais mais comuns utilizados como fase de reforço em compósitos são fibras e partículas. As fibras podem ser feitas de uma variedade de materiais, incluindo vidro, carbono, aramida e polímeros. Já as partículas geralmente são feitas de cerâmicas, metais e polímeros. Existem também as nanopartículas que são utilizadas na produção de um tipo especial de compósito, os nanocompósitos. Em geral, a escolha do material da fase de reforço depende das propriedades desejadas do compósito (Callister; Rethwisch, 2016).

De acordo com Brigante (2014) os materiais que podem ser utilizados como matriz incluem polímeros, metais e cerâmicas. Cada tipo de matriz tem suas vantagens, a escolha do material depende das propriedades desejadas e das condições ambientais em que ele será utilizado.

Existe também outro fator que influencia nas propriedades mecânicas do compósito que é a adesão interfacial entre a fase de reforço e a matriz. A transferência de tensão entre a matriz e as fibras ocorre por meio da interface, logo, é necessária uma boa adesão interfacial para obter um reforço ótimo. No entanto, uma interface muito forte pode permitir a propagação de trincas, o que pode reduzir a tenacidade e a resistência do compósito (Pickering, 2016).

4. HISTÓRICO

Segundo Lampo e Nosker (1997) os primeiros registros do uso da madeira plástica datam do início dos anos 1970, quando processos de fabricação foram desenvolvidos na Europa e no Japão. Naquela época os materiais utilizados para a produção da madeira plástica consistiam exclusivamente de resíduos plásticos pós-industriais, que eram a única fonte de plástico com preços acessíveis disponível na época. No entanto, a indústria da madeira plástica não experimentou um crescimento rápido e desapareceu completamente no Japão. Uma das principais razões para isso foi a falta de compreensão das diferenças nas propriedades mecânicas entre a madeira natural e a madeira plástica, bem como a falta de especificações e orientações para o uso adequado do material.

Ainda na década de 1970, Eduard Klobbie desenvolveu um sistema para transformar resíduos termoplásticos sintéticos em um produto com propriedades semelhantes às da madeira. Desde então, várias empresas em todo o mundo passaram a utilizar sistemas semelhantes ao dele para produzir materiais similares à madeira a partir de resíduos plásticos (Lampo; Nosker, 1997).

A necessidade de reduzir a quantidade de resíduos sólidos deu origem a uma série de atividades para desenvolver novas tecnologias e padrões da indústria que permitam a adoção de produtos reciclados pelo mercado. A produção de madeira plástica reciclada começou então a ser considerada como uma das possíveis alternativas ecologicamente correta e sustentável para reduzir a disposição final dos resíduos plásticos nos aterros sanitários (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

As aplicações iniciais da madeira plástica eram geralmente para a confecção de mesas de piquenique, bancos de parques e outras aplicações em áreas externas de suporte de cargas leves, mas a demanda não era grande o suficiente para desviar quantidades significativas de resíduos plásticos de aterros, então, numa tentativa da indústria de expandir as aplicações da madeira plástica, o uso desse material em áreas externas para estruturas como decks, passarelas e docas foi visto como uma grande oportunidade (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

No Brasil, nos anos 1990, foi iniciada uma das primeiras e mais importantes pesquisas sobre madeira plástica, liderada por Eloisa Biasotto Mano, fundadora do Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano (IMA), e continuada posteriormente por

sua orientanda de mestrado Elen Pacheco. Essa pesquisa deu origem a um produto que foi batizado de Imawood, uma formulação de madeira plástica reciclada (Motta, 2008).

5. COMPOSIÇÃO

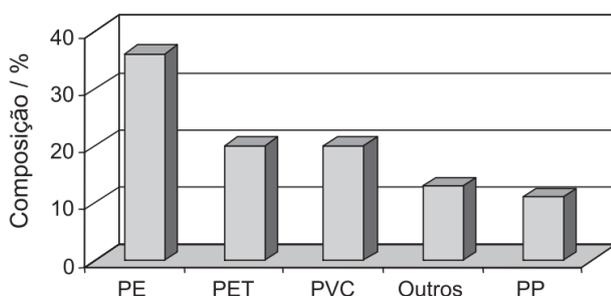
A madeira plástica, na maioria dos casos, é produzida a partir da combinação de fibras de madeira com plásticos, geralmente polietileno de alta densidade ou polipropileno. Alguns fabricantes também adicionam aditivos para melhorar as propriedades do produto final. A proporção dos materiais utilizados pode variar dependendo do fabricante e do produto final desejado (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

5.1. Plásticos

Os plásticos são classificados em dois grupos: termoplásticos e termorrígidos, de acordo com o processo tecnológico de preparação e comportamento durante o aquecimento. Termoplásticos são capazes de amolecer e fluir quando aquecidos, permitindo a moldagem em formatos desejados. Essa alteração é uma transformação física e reversível. Já os termorrígidos são produtos de polimerização que levam à formação de ligações cruzadas entre cadeias, tornando-os rígidos, fenômeno conhecido como cura. Após esse processo, tornam-se infusíveis, insolúveis e não-recicláveis (Piatti; Rodrigues, 2005).

De acordo com Spinacé e Paoli (2005), no Brasil, os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos são: polietileno (PE), que é classificado em polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD), politereftalato de etileno (PET), policloreto de vinila (PVC) e polipropileno (PP). Além desses quatro principais polímeros, outros tipos correspondem a apenas 11% do total (Figura 1).

Figura 1 – Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.



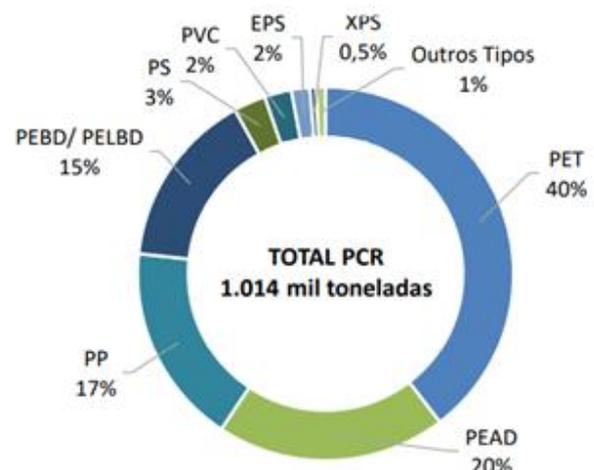
Fonte: Spinacé e Paoli, 2005

O PEAD e o PEBD são polímeros termoplásticos que possuem alta resistência à tração e boa flexibilidade. O PEAD é mais rígido e resistente, é utilizado em

tubulações para água potável e embalagens para produtos químicos. Já o PEBD é mais flexível e elástico, pode ser encontrado em sacolas plásticas e embalagens de alimentos. O PET possui alta resistência mecânica, rigidez e transparência, exemplos de uso incluem garrafas de refrigerante e água mineral. O PVC possui alta resistência química, elétrica e ao fogo, é utilizado em tubulações para água potável e fios elétricos. O PP oferece alta resistência ao impacto, rigidez e estabilidade térmica, pode ser encontrado em embalagens para alimentos e frascos para cosméticos (Spinacé; Paoli, 2005).

Segundo a PICPlast (2022), em relação a 2018, a produção de resina pós-consumo cresceu em grande escala, registrando um aumento de 33,9% em 2021. Do total de mais de 1 milhão de toneladas de resina pós-consumo reciclada, 40% foi de PET, na sequência 20% de PEAD, 17% de PP e 15% de PEBD/PELBD (Figura 2).

Figura 2 – Produção de resina reciclada em 2021 por tipo de material plástico.



Fonte: PICPlast, 2022

Para ser utilizado na produção de madeira plástica, o ideal é que o plástico reciclado seja separado por cor (branco e colorido). Essa separação é recomendada pois na produção de perfis em madeira plástica existem os perfis de cores claras, que utilizam o plástico branco, e os de cores escuras, que utilizam os plásticos coloridos (Guamá et al., 2008).

A madeira plástica pode ser produzida a partir de resinas pós-consumo e pós-industriais, e a escolha dos tipos de plástico a serem utilizados depende das propriedades desejadas para o produto final e do custo dos materiais. O PEAD é frequentemente escolhido

por sua alta resistência à tração, rigidez e resistência à umidade, e assim pode ser utilizado em aplicações ao ar livre, como decks e cercas. Para aplicações internas, como móveis e revestimentos de parede, o PP pode ser uma opção adequada por sua boa resistência mecânica e baixo custo. Alguns fabricantes também utilizam outros tipos de plástico, como PVC e poliestireno (PS). Em aplicações que exigem alta resistência química e térmica, como revestimentos de tubos e tanques, o PVC pode ser a melhor escolha. Além disso, pode ser utilizada uma mistura de resinas para obter as propriedades desejadas para o produto final (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

5.2. Madeira

As fibras de madeira são compostas por células alongadas e finas que formam o tecido lenhoso da madeira. A estrutura celular das fibras é complexa, com paredes celulares compostas por celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é um polímero de glicose que forma as fibrilas de celulose, que são responsáveis pela resistência mecânica das paredes celulares. A hemicelulose é um polímero de açúcares diferentes da glicose, que preenche os espaços entre as fibrilas e ajuda a manter a integridade estrutural da parede celular. A lignina é um polímero complexo que fornece rigidez e resistência à compressão às paredes celulares. Além disso, as paredes celulares das fibras de madeira também contêm outros componentes, como extrativos e proteínas, que podem afetar suas propriedades mecânicas e químicas (Pickering, 2016).

Essas fibras são obtidas a partir de materiais lenhosos selecionados e podem ser processadas por tecnologias como trituração ou extração química. As fibras de madeira têm propriedades mecânicas relativamente boas, como alta resistência à tração e rigidez, além de serem leves e renováveis (Brigante, 2014).

As espécies de madeira mais utilizadas na produção de madeira plástica são pinus, cedro, carvalho e bétula. Esses tipos de madeira são escolhidos por suas propriedades específicas, como resistência à umidade, durabilidade e disponibilidade. Por exemplo, o pinus é frequentemente usado porque é uma madeira macia e fácil de trabalhar, além de ser relativamente barato. O cedro é resistente a insetos e apodrecimento, tornando-o uma boa escolha para aplicações externas. O carvalho é forte e durável, portanto, é adequado para aplicações estruturais. A bétula é frequentemente usada em compósitos devido à sua disponibilidade e baixo custo em algumas regiões do mundo, principalmente na Europa que é sua região de origem (Schut, 2005).

Segundo Moura, Morais e Magalhães (2010) as fibras de madeira são geralmente obtidas a partir de resíduos da indústria madeireira, como serragem e cavacos, e podem ser tratadas com aditivos para melhorar sua resistência à umidade e ao ataque biológico.

IBAMA (2022) oferece informações sobre os resíduos produzidos pela indústria madeireira no Painel da Geração de Resíduos no Brasil. Em 2019 o Brasil gerou 30,29 milhões de toneladas de resíduos não perigosos.

5.3. Aditivos

A incompatibilidade entre as fibras de madeira hidrofílicas e os polímeros termoplásticos hidrofóbicos é um dos principais desafios na produção de compósitos madeira-plástico. A diferença na polaridade entre as fibras e a matriz pode levar a uma fraca adesão entre os dois materiais. Além disso, as fibras têm uma superfície rugosa e porosa que dificulta a adesão à matriz lisa. Isso pode levar à formação de vazios ou falhas na interface entre as fibras e a matriz, reduzindo ainda mais a resistência mecânica do compósito (Colom et al., 2003).

Segundo George, Sreekala e Thomas (2001) a qualidade da ligação interfacial entre as fibras e a matriz polimérica é crucial para obter durabilidade e um desempenho mecânico ideal em compósitos madeira-plástico. O uso de agentes de acoplamento pode levar a uma melhoria significativa nas propriedades mecânicas do compósito, como resistência à tração, flexão, impacto e fadiga. Em geral, os agentes de acoplamento são adicionados à matriz polimérica ou aplicados diretamente nas fibras antes da incorporação na matriz. Eles reagem com os grupos funcionais presentes na superfície das fibras e formam ligações químicas covalentes ou iônicas com a matriz polimérica, melhorando assim a aderência.

Os agentes de acoplamento mais utilizados são silanos, isocianatos e titanatos. Os silanos e isocianatos são compostos orgânicos, enquanto os titanatos são inorgânicos. Todos eles atuam de forma similar, reagindo com os grupos funcionais presentes na superfície das fibras e formando ligações químicas covalentes com a matriz polimérica. Os silanos são aplicados na superfície das fibras antes da incorporação na matriz polimérica, já os isocianatos e titanatos podem também ser adicionados à matriz polimérica antes da incorporação das fibras (George; Sreekala; Thomas, 2001).

De acordo com Pickering (2016), existem outros tipos de aditivos que podem ser utilizados, como modificadores de reologia, estabilizadores térmicos e retardadores de chama. Os modificadores de reologia

são usados para melhorar a processabilidade do compósito durante a fabricação, eles funcionam alterando as propriedades reológicas da matriz polimérica, o que pode melhorar a dispersão das fibras naturais e reduzir a formação de aglomerados. Os modificadores de reologia mais comuns são os agentes espessantes, que podem aumentar a viscosidade da matriz polimérica, e os agentes redutores de viscosidade, que servem para diminuir a viscosidade da matriz.

Os estabilizadores térmicos impedem a oxidação e a degradação térmica da matriz polimérica durante o processamento e uso, o que pode prolongar a vida útil do compósito. Os estabilizadores térmicos mais comuns são os antioxidantes e os absorvedores de UV. Os retardadores de chama são usados para melhorar a resistência ao fogo do compósito, eles reduzem a inflamabilidade do compósito e retardam a propagação da chama. Os retardadores de chama mais comuns são os halogenados, que contêm halogênios como cloro ou bromo, e os não halogenados, que contêm fósforo, nitrogênio ou outros elementos. Os halogenados são mais eficazes, mas também são mais tóxicos e ambientalmente prejudiciais do que os não halogenados (Pickering, 2016).

6. PROCESSO DE PRODUÇÃO

A madeira utilizada na produção de compósitos madeira-plástico deve ser preparada antes de ser misturada com o plástico. A preparação da madeira envolve duas etapas principais: trituração e peneiramento. Na etapa de trituração, a madeira é triturada em pequenos pedaços para facilitar o processamento. A trituração pode ser feita por diferentes métodos, como corte, desfibramento ou moagem. Na etapa de peneiramento, as partículas de madeira são separadas de acordo com a granulometria, e pode ser feito com o auxílio de peneiras vibratórias. O objetivo é obter partículas com tamanho adequado para o processo de extrusão, evitando a presença de partículas muito grandes ou muito pequenas (Yamaji; Bonduelle, 2004).

De acordo com Gardner e Murdock (2010) a madeira precisa ser seca para facilitar a mistura com o polímero e garantir a máxima taxa de saída da extrusora. A madeira deve ser seca para um teor de umidade abaixo de 1% antes de ser misturada com o polímero. É importante garantir que a madeira seca seja usada o mais rápido possível após a secagem, pois ela tende a absorver umidade do ambiente circundante, então não deve ser armazenada por muito tempo. A secagem da madeira pode ser realizada de várias maneiras, incluindo:

1. Pré-aquecimento: A madeira é pré-aquecida antes de ser alimentada na extrusora, pode ser feito usando um forno de pré-aquecimento ou um secador de tambor.
2. Mistura intensiva: A madeira é misturada intensivamente com o polímero para remover a umidade, pode ser feito utilizando um misturador de alta intensidade.
3. Forno rotativo: A madeira é seca em um forno rotativo, que é um cilindro rotativo que aquece a madeira enquanto ela se move através do cilindro.

A preparação do plástico antes de ser misturado com a madeira inclui duas etapas principais: moagem e secagem. Na moagem, o plástico é moído em pedaços menores, e é possível realizar esse processo utilizando variadas técnicas, como corte, trituração ou granulação. O objetivo é obter partículas de tamanho uniforme, que possam ser facilmente misturadas com a madeira. Na etapa de secagem, o plástico é submetido a um processo para remover a umidade. A presença da umidade pode afetar a qualidade do produto final, causando problemas como bolhas, porosidade ou descoloração. A secagem pode ser feita por diferentes métodos, como ar quente ou vácuo. O tempo e a temperatura de secagem dependem do tipo de plástico e das condições ambientais (Yamaji; Bonduelle, 2004).

Em geral, é importante encontrar um equilíbrio entre a quantidade de madeira e plástico na mistura para garantir que o compósito tenha as propriedades desejadas. O uso de altas porcentagens de plástico pode ter algumas consequências negativas (redução da resistência mecânica e aumento da expansão térmica), mas também pode ser necessário em algumas aplicações para atender a requisitos específicos de desempenho, como alta resistência química, à umidade e a intempéries. Com relação ao percentual de madeira, quando ultrapassa 65%, a absorção de água resultante aumenta devido ao fato de ser menos provável que a madeira seja totalmente encapsulada pelo polímero. Isso pode levar a uma redução na resistência do compósito e um aumento na degradação do material (Gardner; Murdock, 2010).

De acordo com Schwarzkopf e Burnard (2016) o processo de mistura, também conhecido como *compounding*, é a combinação dos componentes de madeira e polímero. Nessa fase é importante dispersar uniformemente as fibras de madeira no polímero derretido, além disso outros fatores como o controle de temperatura e umidade durante o processo de mistura são importantes para garantir a qualidade do

produto final. Diferentes métodos de mistura podem ser utilizados, como:

1. Mistura em lote: é realizada em um misturador de alta intensidade em lotes separados;
2. Mistura em massa: permite que os materiais sejam alimentados continuamente no misturador, resultando em uma produção mais eficiente e contínua, o que torna esse método adequado para produção em escala industrial;
3. Mistura em reator: os materiais são adicionados ao reator químico e misturados por meio de agitação mecânica ou por meio de fluxo de fluido.

Os aditivos são inseridos na mistura durante a etapa de *compounding*, e podem incluir antioxidantes, biocidas, retardantes de chama, lubrificantes, pigmentos, entre outros. A incorporação de aditivos pode melhorar as propriedades do compósito, por isso é uma etapa importante na produção (Gardner; Murdock, 2010).

Em seguida, é realizada a etapa de extrusão. A máquina extrusora é composta por um cilindro com uma rosca interna, que gira continuamente para empurrar o material através de uma matriz de saída. A mistura é alimentada na extremidade da rosca e é empurrada ao longo do cilindro pela rotação. À medida que a mistura se move ao longo do cilindro, ela é aquecida e fundida pelo calor gerado pelo atrito entre a mistura e a superfície do cilindro. Durante a extrusão, a temperatura e a pressão são controladas para garantir a qualidade do produto final. A temperatura é controlada em diferentes zonas do cilindro para garantir que a mistura seja aquecida de forma homogênea. A pressão é controlada para garantir que a mistura seja empurrada através do bico de saída da extrusora com a força adequada (Yamaji; Bonduelle, 2004).

A indústria da madeira plástica utiliza dois tipos comuns de máquinas extrusoras na produção, que são as extrusoras de rosca simples e as extrusoras de dupla rosca, que podem operar tanto em co-rotação quanto em contra-rotação. As extrusoras de rosca simples são usadas quando o efeito de mistura não precisa ser muito alto. Já as extrusoras de dupla rosca são preferidas devido ao excelente efeito de mistura que elas proporcionam, permitindo que os materiais sejam distribuídos homogênea e na fusão termoplástica (Faruk et al., 2012).

No final da extrusora, a mistura é forçada através de uma matriz, que é projetada para dar forma ao produto final, como uma tábua de deck ou cerca. Após a extrusão, o produto final é resfriado para solidificar a mistura e garantir que o perfil mantenha sua forma. O produto final é então cortado em comprimentos desejados, e pode ser submetido a um processo de acabamento para melhorar sua aparência e durabilidade. Isso pode incluir a aplicação de revestimentos protetores ou a realização de processos de usinagem para criar superfícies texturizadas (Schwarzkopf; Burnard, 2016).

Na figura 3 pode ser observada uma linha de extrusão de perfil de compósito madeira-plástico que inclui: máquina extrusora, estação de resfriamento, dispositivo de corte e empilhador.

A produção de perfis ocos é uma abordagem comum para reduzir o peso do produto, envolve a utilização de uma matriz especial na extrusora que permite a criação de uma cavidade oca no interior do perfil, essa prática reduz o peso do perfil sem comprometer a resistência mecânica. A produção de perfis ocos também pode aumentar a taxa de produção, pois é utilizada uma menor quantidade de material para produzir um perfil oco em comparação com um sólido.

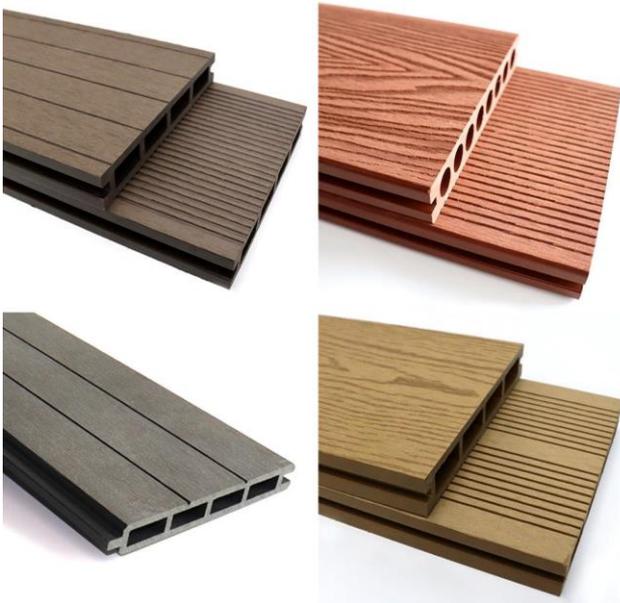
Figura 3 – Linha de extrusão.



Fonte: Hao Yu Precision Machinery Industry

É importante garantir que a parede do perfil seja uniforme e que a cavidade oca seja consistente em todo o perfil, além de utilizar estratégias de fixação mecânica para garantir a integridade estrutural do perfil (Gardner; Murdock, 2010).

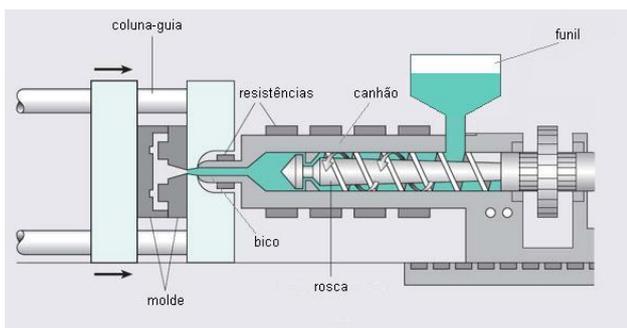
Figura 4 – Exemplos de perfil oco de compósitos madeira-plástico.



Fonte: Anji Zhengyuan WPC Decoration Material

Existe outro processo de moldagem que também pode ser utilizado, mas é menos comum: a moldagem por injeção. Esse sistema pode ser usado para fazer formas mais complexas para uma variedade de produtos. Os primeiros passos na moldagem por injeção são semelhantes aos da extrusão, mas ao invés de ser forçada através de uma matriz, a mistura é injetada em um molde. A mistura preenche o molde, é resfriada e é então ejetada em preparação para a próxima peça a ser formada (Schwarzkopf; Burnard, 2016).

Figura 5 – Esquema do processo de moldagem por injeção.



Fonte: Fer-plastic, 2016

7. VANTAGENS

A madeira plástica apresenta algumas vantagens em relação a outros materiais convencionais, a boa resistência mecânica e rigidez são exemplos dessas vantagens, pois são características importantes para aplicações estruturais e semi-estruturais. Além disso, é leve e fácil de processar, o que a torna uma opção interessante para diversas aplicações. A leveza é uma característica importante para aplicações em que o peso é um fator crítico. Já a facilidade de processamento permite a produção de peças de geometria complexa e com alta precisão dimensional, o que é importante para aplicações em que a estética e a funcionalidade são fatores críticos. É importante ressaltar que a resistência mecânica e rigidez dos compósitos podem variar dependendo da formulação utilizada (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

Além da possibilidade de moldagem em variadas formas, os compósitos madeira-plástico podem ser produzidos em várias cores e texturas, desde tons de madeira natural até cores vibrantes e ousadas (Gardner; Murdock, 2010).

A fabricação deste material pode ajudar a reduzir a quantidade de plásticos que acabam em aterros sanitários ou no meio ambiente, já que podem ser produzidos a partir de resinas pós-consumo e pós-industriais. Isso é importante porque os plásticos podem levar centenas de anos para se decompor e podem causar danos ambientais significativos (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

Schwarzer, Rocha e Seleme (2021) constataram, em um estudo realizado sobre uma empresa produtora de madeira plástica, que no período de um ano, entre setembro de 2019 e agosto de 2020, essa empresa retirou do meio ambiente 14.964,14 toneladas de resíduos plásticos.

Outro aspecto benéfico da utilização desse produto é sua capacidade de prevenir a derrubada de árvores, que é um fator responsável por 75% da emissão de gás carbônico no Brasil, sendo que esse é o principal gás causador do efeito estufa (Máximo, 2007).

Para cada 700 quilos de madeira plástica produzida, uma árvore é preservada. No Brasil, uma única fábrica produz 200 toneladas de madeira plástica por mês, isso significa que ao longo de 6 anos de produção, foram preservadas 180 mil árvores, o que equivale a 400 campos de futebol cobertos de florestas (Trigueiro; Bocardi, 2012).

A utilização de resíduos de madeira na produção de compósitos madeira-plástico apresenta algumas

vantagens ambientais significativas. Uma delas é o aproveitamento de materiais que seriam descartados como lixo, reduzindo a quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários ou queimados, contribuindo assim para a redução do impacto ambiental associado ao descarte inadequado de resíduos de madeira. Além disso, essa prática reduz a necessidade de extração de madeira de fontes naturais, o que ajuda a preservar as florestas e ecossistemas, evitando a degradação ambiental associada à exploração da madeira (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

Uma das vantagens da utilização de CMP é a sua resistência a insetos e fungos, assim é possível obter um material durável e resistente que não requer tratamento químico adicional para protegê-lo. Isso ocorre porque os plásticos utilizados na produção são resistentes a esses organismos, o que ajuda a proteger a madeira contra a deterioração causada por insetos e fungos. É importante ressaltar que essa resistência pode variar dependendo da qualidade dos materiais utilizados na produção, bem como das condições ambientais em que é utilizado (Brigante, 2014).

A madeira plástica apresenta uma alta durabilidade quando comparada com a madeira natural, e isso ocorre porque ela é menos suscetível a rachaduras, deformações e descoloração. A madeira natural é um material orgânico que é suscetível a danos causados por fatores ambientais. A madeira plástica, por outro lado, é composta por uma mistura de fibras de madeira e polímeros termoplásticos, o que lhe confere propriedades superiores à madeira natural, já que os polímeros ajudam a proteger as fibras da deterioração (Colom et al., 2003).

Os compósitos madeira-plástico são mais fáceis de limpar do que a madeira natural. Isso ocorre porque são menos porosos, então não absorvem água ou sujeira tão facilmente. Para limpá-los basta usar água e sabão neutro, a sujeira e os detritos podem ser facilmente removidos com uma vassoura e/ou mangueira de jardim, como possuem uma baixa absorção de água, eles secam rapidamente e não ficam manchados ou descoloridos (Schwarzkopf; Burnard, 2016).

Por oferecer uma alta resistência à umidade, a madeira plástica se torna uma boa opção para aplicações ao ar livre. No entanto, alguns produtos podem ser mais resistentes à umidade do que outros, dependendo do fabricante e do produto específico. Além disso, é importante notar que a exposição prolongada à umidade ainda pode afetar a durabilidade do material (Lampo; Nosker, 1997).

A madeira plástica apresenta maior agarre a pregos e parafusos do que a madeira natural, o que significa que é mais fácil fixá-la em superfícies. Além disso, ela não solta farpas, o que a torna mais segura e confortável de manusear. Esse material pode ser trabalhado com as mesmas ferramentas da madeira comum, portanto não é necessário adquirir ferramentas especiais para trabalhar com ela. Essas características tornam a madeira plástica uma opção prática e versátil para diversos tipos de projeto (Guamá et al., 2008).

8. DESVANTAGENS

Embora a madeira plástica possa ser utilizada em uma variedade de aplicações, ela pode ter algumas limitações em comparação com a madeira natural. O módulo de elasticidade pode ser menor do que o da madeira natural, isso significa que é mais suscetível a deformações ou deflexões, o que pode afetar sua utilização em aplicações estruturais (Krishnaswamy; Lampo, 2001).

Frantz (2017) realizou ensaios em corpos de prova de madeira plástica, obtendo resultados que demonstravam elevada densidade quando comparada às madeiras naturais, mas valores de resistência à compressão de 14,27 MPa e o módulo de elasticidade de 2397 MPa, menores que as madeiras naturais. Frantz (2017) concluiu que o uso da madeira plástica como elemento estrutural deve ser restrito a estruturas com baixas solicitações de esforços, pois o baixo módulo de elasticidade reflete em maiores cuidados com suas deformações, sendo necessário utilizar seções de madeira plástica com maiores inércias.

Tabela 1: Comparação entre as classes de resistências das coníferas.

Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	γ_{ap} (kg/m ³)
Madeira Plástica	14,27	4,93	2397	1224
C20	20	4	3500	500
C25	25	5	8500	550
C30	30	6	14500	600

Fonte: Frantz, 2017

Tabela 2: Comparação entre as classes de resistências das dicotiledôneas.

Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	γ_{ap} (kg/m ³)
Madeira Plástica	14,27	4,93	2397	1224
C20	20	4	9500	650
C30	30	5	14500	800
C40	40	6	19500	950
C60	60	8	24500	1000

Fonte: Frantz, 2017

A exposição prolongada à radiação UV pode causar a degradação dos polímeros utilizados na produção do compósito, o que pode levar a uma perda de resistência mecânica e a uma mudança na cor do material. Para minimizar a degradação por radiação UV, os fabricantes de CMP podem acrescentar aditivos que ajudam a proteger o material (Brigante, 2014).

Embora os compósitos madeira-plástico sejam mais duráveis e resistentes do que a madeira natural em muitos aspectos, eles podem ser mais propensos a riscos e arranhões. Isso pode ser um problema em áreas de alto tráfego ou em ambientes onde os móveis ou objetos são frequentemente movidos ou arrastados. A resistência a riscos e arranhões pode variar dependendo do processo de produção e do tipo de polímero usado na mistura, alguns fabricantes podem acrescentar aditivos ou revestimentos para melhorar essa resistência (Schwarzkopf; Burnard, 2016).

A resistência mecânica pode ser comprometida em condições de umidade ou de exposição a altas temperaturas, o que pode limitar suas aplicações em alguns casos (Moura; Morais; Magalhães, 2010).

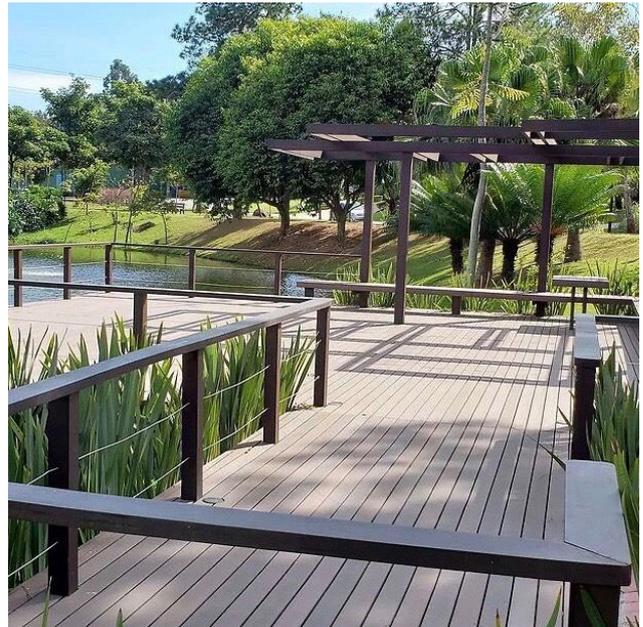
A madeira plástica pode ser mais cara do que a madeira natural, especialmente para designs convencionais. Isso ocorre porque a madeira plástica é produzida a partir de plásticos e fibras de madeira, que são geralmente mais caros do que a madeira natural. Além disso, a produção pode exigir equipamentos e processos de fabricação mais complexos do que a produção de madeira natural, o que pode aumentar ainda mais os custos. No entanto, a madeira plástica pode ser mais econômica a longo prazo, já que precisa de menos manutenção. Também é importante considerar os benefícios que ela oferece, como versatilidade e resistência à umidade, além de ser uma opção mais sustentável (Colom et al., 2003).

A falta de normas que orientem a produção e utilização da madeira plástica também é uma grande desvantagem, já que, por conta disso, se obtém um material de qualidade incerta, o que pode comprometer a segurança de sua utilização.

9. APLICAÇÕES

Os decks de madeira plástica são uma alternativa popular aos decks de madeira natural, pois não requer vedação, pintura ou lixamento, nem a substituição periódica de tábuas danificadas. Outra vantagem é que testes indicam que a madeira plástica quando molhada é menos escorregadia que a madeira natural (Guamá et al., 2008).

Figura 6 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em decks.



Fonte: Deck Fábrica

Os revestimentos de parede de compósitos madeira-plástico são uma opção atraente para a construção de fachadas e paredes externas, pois são resistentes à umidade e à corrosão, além de serem leves e fáceis de instalar (Callister; Rethwisch, 2016).

Figura 7 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em revestimentos de parede.



Fonte: Ekobio Madeira Plástica

O uso da madeira plástica na indústria automotiva tem sido cada vez mais explorado como uma alternativa aos materiais sintéticos tradicionais, ela pode ser usada em várias peças, como painéis de porta, painéis de teto e revestimentos internos. Uma das principais vantagens do uso da madeira plástica é a redução de peso, já que ela tem uma densidade menor do que os materiais tradicionais. Isso pode levar a uma melhoria na eficiência de combustível e na redução das emissões de CO₂. Além disso, esse material pode oferecer outras vantagens como uma melhor absorção

de ruído e vibração (George; Sreekala; Thomas, 2001).

Figura 8 – Exemplos de aplicação da madeira plástica em peças automotivas.



Fonte: Wolverine Auto Board Sales

Os CMP podem ser usados para produzir portas e janelas. As portas de madeira plástica apresentam várias vantagens em relação às portas de madeira, uma delas é a leveza, que pode facilitar a instalação e reduzir o custo de transporte. Elas também são mais resistentes à umidade e podem ser produzidas em uma ampla variedade de cores e acabamento (Pickering, 2016).

Figura 9 – Exemplos de aplicação da madeira plástica em portas.



Fonte: Yashashri Polyextrusion

A madeira plástica também pode ser utilizada na fabricação de móveis e decoração, como cadeiras, mesas e estantes, devido às suas propriedades

mecânicas adequadas e à sua aparência estética (Faruk et al., 2012).

Figura 10 – Exemplos de aplicação da madeira plástica em móveis.



Fonte: Patio Productions

Os compósitos madeira-plástico podem ser utilizados como revestimento de pisos em áreas internas ou externas, o material pode ser produzido em diferentes cores e texturas, o que permite a criação de pisos personalizados e com design diferenciado (Yamaji; Bonduelle, 2004).

Figura 11 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em revestimento de pisos.



Fonte: Jiangsu Flooring Decoration Material

As cercas são uma das possíveis aplicações da madeira plástica, e oferecem várias vantagens em relação às cercas de madeira natural, incluindo: durabilidade, baixa manutenção, versatilidade e sustentabilidade. Além disso, as cercas podem ser projetadas para imitar a aparência da madeira natural e também podem ser projetadas com recursos

adicionais, como portões e postes, para criar uma solução completa de cercamento (Gardner; Murdock, 2010).

Figura 12 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em cercas.



Fonte: Protechwood

Algumas das aplicações da madeira plástica podem ser encontradas nas instalações da Cidade Universitária da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como lixeiras, pontos de ônibus, bancos e pergolados, que podem ser observados nas figuras 13, 14, 15 e 16.

Existem outras várias possíveis aplicações para esse material como, telhas, corrimãos, brinquedos, playgrounds, paletes, caixas, equipamentos esportivos, entre outros. A madeira plástica oferece características e propriedades que podem ser adequadas para as mais diversas necessidades.

Figura 13 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em lixeiras.



Fonte: UFMS

Figura 14 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em pergolado.



Fonte: UFMS

Figura 15 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em ponto de ônibus.



Fonte: UFMS

Figura 16 – Exemplo de aplicação da madeira plástica em bancos.



Fonte: UFMS

10. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo realizar um levantamento bibliográfico sobre os conceitos envolvidos na área de compósitos madeira-plástico, destacando suas implicações positivas ao meio ambiente. Ao reunir informações acerca deste tema, foi possível compreender a importância e o potencial dos compósitos madeira-plástico como alternativa sustentável na indústria.

Ao longo deste estudo, foi evidenciado que as fibras de madeira presentes nos compósitos conferem propriedades favoráveis, como alta resistência mecânica, baixa densidade e boa estabilidade dimensional. Além disso, a utilização de resíduos de madeira na composição desse material contribui para a redução do impacto ambiental, promovendo a

sustentabilidade e a valorização de materiais renováveis.

A fabricação desse material se apresenta como uma solução promissora para reduzir a quantidade de plásticos que acabam em aterros sanitários ou no meio ambiente, o que gera uma grande preocupação já que é um material que pode demorar centenas de anos para se decompor. Ao utilizar plásticos reciclados na produção desses compósitos, é possível dar uma nova vida a materiais que, de outra forma, seriam descartados, contribuindo para a economia circular e a redução do desperdício. Essa abordagem sustentável ajuda a diminuir a demanda por plásticos virgens, que são produzidos a partir de recursos não renováveis e têm um impacto significativo no meio ambiente durante sua fabricação.

No entanto, apesar das vantagens apresentadas, ainda existem alguns desafios a serem superados, que são oportunidades de pesquisa futura, como a otimização dos processos de produção, a melhoria das propriedades mecânicas e a disponibilização de normas para o uso desse material, principalmente em aplicações estruturais. Além disso, é importante investigar a viabilidade econômica dos CMP em larga escala, bem como avaliar seu desempenho em diferentes condições ambientais e de uso.

Em suma, este estudo ressaltou a importância da madeira plástica como uma alternativa sustentável na indústria, destacando suas propriedades favoráveis, suas aplicações e os benefícios ambientais que pode proporcionar. A partir das informações obtidas, é possível concluir que a madeira plástica apresenta um grande potencial para impulsionar a sustentabilidade na indústria, contribuindo para a redução do uso de materiais não renováveis e para a diminuição do impacto ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anji Zhengyuan WPC Decoration Material. Disponível em: <http://www.zjwpc.com/products.php>. Acesso em 03 jun. 2023.
- BRIGANTE, D. **New Composite Materials – Selection, Design, and Application**. Nápoles: Editora Springer, 2014.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais – Uma Introdução**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Editora Livros Técnicos e Científicos, 2016.
- COLOM, X.; CARRASCO, F.; PAGES, P.; CANAVATE, J. Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocellulosic fiber composites. **Composites Science and Technology**. v. 63, p. 161-169, 2003.
- CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S.; RAZZINO, C. A.; HAGE JR., E. Compósitos Termoplásticos com Madeira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 13, n. 3, p. 154-165, 2003.
- Deck Fábrica building dream products. Disponível em: <https://deckfabrica.com.br/>. Acesso em: 11 jun. 2023.
- FARUK, O.; BLEDZKI, A. K.; FINK, H. P.; SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. **Progress in Polymer Science**. v. 37, p. 1552-1596, 2012.
- FER-PLASTIC. O processo de moldagem por injeção. 2016. Disponível em: <https://ferplastic.wordpress.com/2016/06/29/o-processo-de-moldagem-por-injecao/>. Acesso em: 09 jun. 2023.
- FRANTZ, G. A.; TRINDADE, C. A. Caracterização de Madeira Plástica (Wood Plastic Composite) para fins estruturais. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, UFMS, Campo Grande, 2017.
- GARDNER, D. J.; MURDOCK, D. Extrusion of Wood Plastic Composites. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7540c0994220025d12c6b9515b0be12ba44d0b6e>. Acesso em: 03 jun. 2023.
- GEORGE, J.; SREEKALA, M. S.; THOMAS, S. A Review on Interface Modification and Characterization of Natural Fiber Reinforced Plastic Composites. **Polymer Engineering and Science**. v. 41, p. 1471-1485, 2001.
- GUAMÁ, F. F. M. C.; COSTA, R. V. A.; ROCHA, H. L.; INSENSEE, F. V.; FUTURO, L. L. Lixo Plástico – de sua Produção até a Madeira Plástica. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2008. **Anais...** Rio de Janeiro, 2008.
- Hao Yu Precision Machinery Industry. Disponível em: <https://www.hao-yu.com.tw/wpc-production-line-machine/profile-extrusion.html>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Painel da Geração de Resíduos no Brasil. 2022. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNmViNTNiMWQ0YjAxOC00YzAzLTg3NDctMjM>

[4NmYyNjk1ZDA2IiwidCI6IjZhZTNmNWU3LlU0MTktNDJhNy04MDc1LThjMTQ5MGM3MmIyNSJ9](https://www.z-youngfloor.com/pro_detail2/1028992869038428160.html). Acesso em: 01 jun. 2023.

Jiangsu Zhengyong Flooring Decoration Material. Disponível em: https://www.z-youngfloor.com/pro_detail2/1028992869038428160.html. Acesso em: 11 jun. 2023.

KRISHNASWAMY, P.; LAMPO, R. Recycled-Plastic Lumber Standards: From Waste Plastics to Markets for Plastic Lumber Bridge. **Standardization News**, v. 2, 2001. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=84820f55314a53f7dbcedced5d64f1316f1caf>. Acesso em: 13 maio 2023.

LAMPO, R. G.; NOSKER, T. J. Development and Testing of Plastic Lumber Materials for Construction Applications. USACERL Technical Report 97/95. Construction Productivity Advancement Research (CPAR) Program, 1997. Disponível em: <https://erdc-library.erdc.dren.mil/jspui/handle/11681/19531>. Acesso em: 7 maio 2023.

MÁXIMO, W. Derrubadas de árvores geram 75% das emissões de gás carbônico no Brasil. Agência Brasil, Brasília, 2007. Disponível em: <http://memoria.etc.com.br/agenciabrasil/noticia/2007-07-01/derrubadas-de-arvores-geram-75-das-emissoes-de-gas-carbonico-no-brasil>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MOTTA, D. O milagre da reciclagem de plástico em madeira. FAPERJ, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <https://siteantigo.faperj.br/?id=1280.2.3>. Acesso em: 7 maio 2023.

MOURA, M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos – Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**. 2ª ed. Porto: Editora Publindústria, 2010.

NAJAFI, S. K. Use of recycled plastics in wood plastic composites – A review. **Waste Management**. v. 33, p. 1898-1905, 2013.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais**. Maceió: Editora da Universidade Federal de Alagoas, 2005.

PICKERING, K. L.; ARUAN EFENDY, M. G.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical

performance. **Composite Part A**. v. 83, p. 98-112, 2016.

Plastic Wood Composites. Wolverine Auto Board Sales. Disponível em: <https://www.wabsinc.com/plastic-wood-composites>. Acesso em: 11 jun. 2023.

Produção de plásticos reciclados pós-consumo cresce 14,7% no Brasil. Plano de Incentivo a Cadeia do Plástico – PICPlast, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.picplast.com.br/detalhe-noticia/producao-de-plasticos-reciclados-pos-consumo-cresce-147-no-brasil>. Acesso em: 19 maio 2023.

SCHUT, J. H. Wood-Plastic Composites: Weathering Quality Issues. *Plastics Technology*, 2005. Disponível em: <https://www.ptonline.com/articles/wood-plastic-composites-weathering-quality-issues>. Acesso em: 01 jun. 2023.

SCHWARZER, E.; ROCHA, J. A. S.; SELEME, R. Análise da utilização da logística reversa e sustentabilidade em uma empresa fabricante de madeira plástica. **Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo**. v. 6, n. 5, p. 109-133, 2021.

SCHWARZKOPF, M. J.; BURNARD, M. D. Wood-Plastic Composites – Performance and Environmental Impacts. **Environmental Impacts of Traditional and Innovative Forest-based Bioproducts**. p. 19-43, 2016.

SOBCZAK, L.; LANG, R. W.; HAIDER, A. Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles. **Composites Science and Technology**. v. 72, p. 550-557, 2012.

SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. **Química Nova**. v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

TEUBER, L.; OSBURG, V. S.; TOPOROWSKI, W.; MILITZ, H.; KRAUSE, A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. **Journal of Cleaner Production**. v. 110, p. 9-15, 2016.

TRIGUEIRO, A.; BOCARDI, R. Madeira plástica evita derrubada de árvores para fabricar móveis. *Jornal da Globo*, 2012. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2012/09/madeira-plastica-evita-derrubada-de-arvores-para-fabricar-moveis.html>. Acesso em: 22 jun. 2023.

UFMS – FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL. Plano de Acessibilidade da UFMS – 2020 – 2024. Campo Grande, 2020. Disponível em: https://www.ufms.br/wp-content/uploads/2021/05/Plano-de-Acessibilidade_RESOLUCAO-CD-n-124-de-26-02-2021..pdf. Acesso em: 23 jun. 2023.

Wood Composite Patio Furniture. Patio Productions. Disponível em: <https://www.patioproductions.com/composite-patio-furniture.html>. Acesso em: 11 jun. 2023.

WPC Fence. Protechwood. Disponível em: <https://www.protechwood.com/our-products/wpc-fence/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

WPC (Wood Plastic Composite) Doors. Yashashri Polyextrusion. Disponível em: <https://www.yashpolyprofiles.com/wpc-doors.html>. Acesso em: 11 jun. 2023.

YAMAJI, F. M.; BONDUELLE, A. Utilização da Serragem na Produção de Compósitos Plástico-Madeira. **Revista Floresta**. v. 34, p. 59-66, 2004.