

**COMPÓSITOS DE FIBRAS MADEIREIRAS: REVISÃO DE ESTUDOS
PUBLICADOS DE 2010 A 2019**
**LOGGING COMPANIES FIBER COMPOSITES: A REVIEW OF STUDIES
FROM 2010 TO 2019**

Luciana Kurack da Silva Misucochi¹
Ana Carolina Correa de Medeiros²
Helder Alexandre Amorim Pereira³
Claudete Barbosa Ruschival⁴

Resumo: Processos e produtos desenvolvidos a partir do aproveitamento de resíduos podem contribuir para a diminuição dos riscos de esgotar recursos naturais. Todavia, a produção de móveis gera grande quantidade de resíduos, que muitas das vezes não são descartados de forma correta, criando um ciclo de desperdício. Neste sentido, o objetivo desta pesquisa é realizar uma revisão crítica da literatura técnica publicada no período de 2010 até 2019, encontrando-se, dessa maneira, 73 trabalhos no total. Através da mineração visual de dados, selecionaram-se 11 publicações, visando demonstrar a viabilidade do uso de resíduos madeireiros para criação de compósitos. Esse artigo estuda essas 11 publicações de maneira crítica, a fim de estabelecer uma lista de informações pertinentes sobre o tema, para fácil consulta de pesquisadores que desejem iniciar pesquisa sobre o tema, ou mesmo, que almejam aprofundar seu cabedal sobre a criação de novos compósitos originados a partir de fibras vegetais. Demonstra, de forma visual e discursiva, os resultados encontrados pelas pesquisas e relaciona os temas de forma a analisá-los em paralelo. De forma análoga, essa produção científica assinala novas perspectivas para pesquisas sobre compósitos confeccionados a partir de fibras de madeira. Esse estudo também pode apontar a possibilidade de um ciclo produtivo mais sustentável, com reaproveitamento de resíduos fabris da indústria moveleira e madeireira no Brasil.

¹ Graduada em Design de Interiores pela Universidade do Oeste Paulista. Pós-graduada em Arquitetura de Interiores pela Universidade do Norte do Paraná - Londrina. Professora na faculdade Martha Falcão-Wyden-Manaus, no curso de Design de Interiores e Arquitetura e Urbanismo. Mestranda no Programa de Pós-graduação em Design - Universidade Federal do Amazonas - UFAM. E-mail: lucianakurack@gmail.com

² Graduação em Direito pela Universidade do Estado Amazonas, graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Amazonas, Mestre em Design pela Universidade Federal do Amazonas - UFAM. E-mail: carolmedeiros.peace@gmail.com

³ Graduado em Design pela Universidade Federal da Paraíba- UFPB, graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Luterana do Brasil - ULBRA/AM, Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Doutor em Biotecnologia e Conservação pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Professor do departamento de Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal do Amazonas UFAM. E-mail: arqhelder_amorim@yahoo.com.br

⁴ Graduação em Desenho Industrial pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM, Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Doutorados em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Professora da Universidade Federal do Amazonas- UFAM. claudete@ufam.edu.br

Palavras-chave: Compósitos. Fibras de madeira. Resíduos. Revisão crítica.

Abstract: Processes and products developed from the use of waste can contribute to reducing the risks of depleting natural resources. However, the furniture production generates a large amount of waste, which is often not disposed correctly, creating a cycle of waste. In this sense, the objective of this research is to carry out a critical review of the technical literature published in the period from 2010 to 2019, thus finding 73 works in total. Through visual data mining, it was possible to select 11 publications, aiming to demonstrate the feasibility of using wood residues to create composites. This article studies 11 publications critically, in order to establish a list of pertinent information on the subject, for easy consultation for researchers who wish to start research on the subject, or even, who wish to deepen their capital on the creation of composites originated from natural fibers. It demonstrates, in a visual and discursive way, the results found by the researchers and lists the themes in order to analyze them in a complete research universe. Similarly, this scientific production points to new perspectives for research on composites made from wood fibers. This study can also point to the possibility of a more sustainable production cycle, with the reuse of industrial residues from the furniture and wood industry in Brazil.

Keywords: Composites. Wood fibers. Waste. Critical review.

1 INTRODUÇÃO

Há crescente interesse em desenvolver produtos que reduzam os impactos ambientais e os custos de produção. Persiste uma intensa busca por processos e produtos, com o foco na reciclagem dos resíduos como maneira de mitigar efeitos ambientais danosos (BALLA, et al., 2019; QUIRINO, SANTOS e NETO, 2017). O presente trabalho de pesquisa buscou demonstrar a potencialidade do uso dos resíduos de MDF (*Medium Density Fiberboard*, traduzido como placa de fibra de média densidade) para criação de novos compósitos.

O MDF é obtido a partir das fibras de madeira pinus e eucalipto, advindos de florestas plantadas ou reflorestadas, aglutinadas e compactadas com resinas aldeídicas (ABIMOVEL, 2018). Essa massa recebe ação de calor e de pressão para sua compactação, conferindo ao produto propriedades de homogeneidade, resistência, maleabilidade e durabilidade (FREITAS e LENZ, 2019).

A tecnologia produtiva continua a evoluir de forma que novos materiais compósitos são criados a cada ano. O compósito é uma alternativa para aproveitamento de resíduos e também uma estratégia produtiva para ampliar a sustentabilidade de um produto ou de uma organização (QUARESMA e MOURA, 2016). O estudo sobre compósitos criados a partir dos resíduos de MDF demonstrou ser um campo efetivo para inovação sustentável, assim, essa pesquisa emerge da possibilidade de reduzir os impactos negativos oriundos da geração de resíduos madeireiros.

A metodologia utilizada para a revisão da literatura foi a mineração visual de dados, conforme proposta por Blum, Merino e Merino (2016), objetivando encontrar referências de métodos e técnicas produtivas empregadas na confecção de compósitos com fibras e particulados. O levantamento qualitativo desta busca se deu entre os dias 05/08/2019 até 23/08/2019, no portal CAPES (Portal da Coordenação de Aperfeiçoamento de Ensino Superior) para acessar artigos nas plataformas de publicações. Para a extração de padrões foram utilizadas as palavras-chave “*Composite, natural*

fibers, vegetable fibers, MDF, utilizando-se o operador booleano “AND” como intercessor para os termos de busca na área de conhecimento da engenharia e subcategoria de engenharia de materiais com a plataforma *Science Direct* (com 73 resultados encontrados), achados resumidos no Quadro 1. Foram feitas, ainda, combinações entre as palavras, usando tanto o idioma inglês quanto o português. O período de pesquisa abarcou os anos de 2010 a 2019. A busca ainda utilizou os seguintes termos para refinar os resultados: “*fibers, compósito, Composite materials, wood*”.

Quadro 1 – Resumo do levantamento quantitativo da bibliografia

ANO DE PUBLICAÇÃO	NÚMERO DE PUBLICAÇÕES
2010	6
2011	2
2012	7
2013	4
2014	13
2015	6
2016	7
2017	14
2018	6
2019	8

Fonte: Elaboração Própria.

Não se verificou crescimento ou decréscimo no quantitativo de artigos publicados sobre o tema, no entanto, é possível aduzir que há média de publicações assinalada de ao menos 7 publicações sobre o tema por ano. Os anos de 2014 e de 2017 apresentam momentos de ápice no quantitativo de publicações sobre o tema, com 13 e 14 publicações, cada um. O ano de 2011 apresenta o menor contingente de publicações, com apenas 2 trabalhos publicados sobre o tema proposto.

Assim, esse artigo visa oferecer um quadro do Estado da Arte sobre o assunto, de forma a facilitar a pesquisa sobre o tema dos compósitos criados a partir de resíduos de MDF. Essa pesquisa contou com apoio da FAPEAM - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, através do fomento administrativo destinado ao curso de Mestrado Profissional do Programa de

Pós Graduação em Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal do Amazonas.

2 CONCEITOS INICIAIS

Antes de aprofundar o tema pesquisado, é importante fundamentar conceitos iniciais que norteiam e situam o tema. Assim, essa seção elenca e discute alguns conceitos fundamentais para entender-se o que são os compósitos, o que são resíduos, sobre o ciclo produtivo sustentável e sobre os resíduos da indústria moveleira.

2.1 Conceito de resíduo

Donato e Takenaka, (2016) conceituam resíduo como todo remanescente de um processo de produção, de exploração, de consumo, de transformação ou de utilização, com grande diversidade de fonte ou atividade geradora. Portanto, todo material que comporta alguma possibilidade de uso por meio do aproveitamento e reciclagem deve ser considerado como resíduo. De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 10.004/2004 os resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível (NBR 10.004/ 2004).

A Lei Federal brasileira n. 12.305/2010 categoriza os resíduos sólidos classificando-os em diversos tipos conforme sua fonte de origem. Por possuírem características físicas, químicas e biológicas distintas, a NBR 10.004:2004 recomenda classificá-los em três classes diferentes, conforme o Quadro 2:

Quadro 2 – Classificação de resíduos

RESÍDUOS DE CLASSE I	RESÍDUOS DE CLASSE II A	RESÍDUOS DE CLASSE II B
Perigosos	Não perigosos e não inertes	Inerte
São os que exigem tratamentos especiais e podem apresentar riscos à saúde pública, favorecendo a incidência de doenças e prejudicando o meio ambiente em função de suas características de Inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.	Não apresentam periculosidade, porém não são inertes. Podem possuir propriedades de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.	Aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: Adaptado da NBR 10.004:2004 (2019).

Os resíduos industriais são muito diversos por conta dos inúmeros processos de fabricação das várias atividades produtivas. Podem ser representados por processos, cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papel, madeira, fibras, borracha, metal, escórias, vidros, cerâmicas entre outros (IPEA — Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012). Nesse contexto, as empresas são responsáveis pela geração e destinação de seus resíduos, conforme estabelece a legislação brasileira. Também são obrigadas por meio do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos — PGRS — a registrar a situação atual, de modo a absorver uma proposta de adequação do tratamento aos resíduos mantendo essa responsabilidade contínua e constante (Lei Federal n. 12.305/2010).

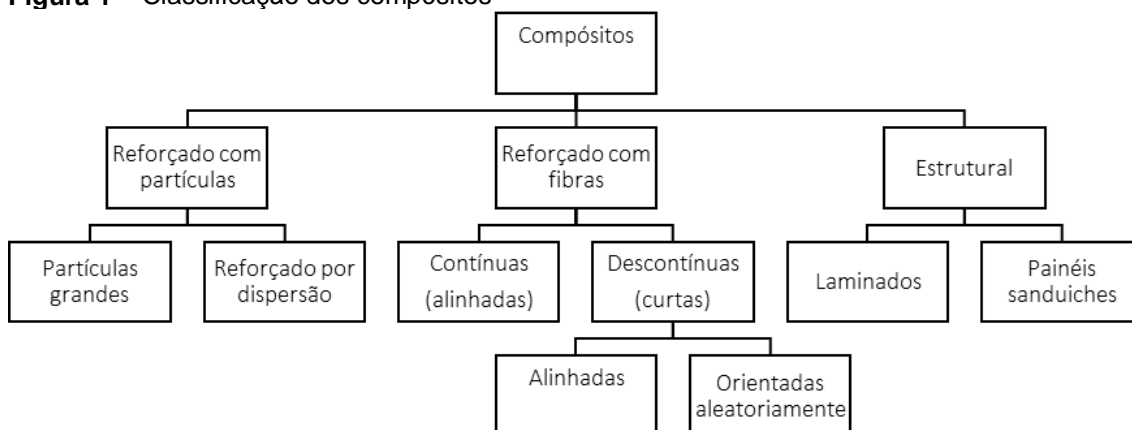
2.2 Conceito de compósito

De acordo com a norma ASTM-D:3878-95, compósito é um produto obtido a partir da união de dois ou mais materiais insolúveis entre si, com o intuito de formar um novo material. Segundo Callister e Rethwisch (2015), um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico, com misto de propriedades de ambas as fases constituintes. Logo, os compósitos podem ser formados por diversos componentes a partir da união dos diferentes

materiais para obter um novo insumo com qualidade elevada das propriedades mecânicas e físicas.

Os compósitos são, geralmente, criados a partir de dois constituintes, uma intitulada de matriz e a outra de fase dispersa também chamada de reforço (CALLISTER E RETHWISCH, 2015). A matriz confere estrutura ao material, podendo ser polimérica, metálica ou cerâmica e o reforço proporciona força, rigidez e realça as propriedades entre elas, as mecânicas, eletromagnéticas e químicas do material. Os compósitos são classificados em função do tipo da matriz, de sua natureza e da geometria do elemento de reforço (CALLISTER E RETHWISCH, 2015), conforme pode ser melhor visualizado na Figura 1.

Figura 1 – Classificação dos compósitos



Fonte: Callister e Rethwisch (2015).

Compósitos reforçados por fibras proporcionam alta resistência e rigidez com menor peso. São subdivididos em fibras contínuas e fibras descontínuas, podendo ser: 1) Alinhadas: o que confere valores de módulo de elasticidade e de limite de resistência à tração próximos aos de compósitos com fibras contínuas; ou 2) Orientadas aleatoriamente: possuem menor custo de produção, porém possuem menor eficiência mecânica em relação aos de fibras contínuas (CALLISTER E RETHWISCH, 2015).

Diante disso, percebe-se que a criação de compósitos visa criar materiais que combinem as melhores características dos materiais originais,

seja dotando-os de maior resistência aliada com grande leveza, quer assimilando características de durabilidade com menores custos produtivos.

2.3 Compósitos como forma de garantir um ciclo produtivo sustentável

Os recursos naturais são explorados para o atendimento das necessidades básicas de sobrevivência humana. A humanidade vincula-se estreitamente à natureza, no entanto, a preocupação com a manutenção de um sistema ambiental propício à vida, aqui, falado em contexto geral, é muito recente.

A busca por métodos fabris mais eficientes, no entanto, contribui positivamente para mitigar os efeitos danosos do sistema produtivo, além de permitir um ganho econômico baseado no tripé da sustentabilidade: meio ambiente, sociedade e economia. A própria evolução tecnológica e o controle dos investimentos, atendendo as necessidades do hoje com a preocupação do amanhã (ALONGE et al., 2014).

Os compósitos derivados de recursos renováveis, tais como as fibras naturais e os polímeros originados da biomassa, são alternativas ecológicas, além de serem economicamente viáveis (CALEGARI e OLIVEIRA, 2016). O uso de componentes advindos da produção alimentícia também desponta como uma maneira de solucionar o problema de descarte de cascas, de fibras e de outros materiais que, de outra forma, serviriam apenas como biocombustível de queima, agregando maior valor a todo processo produtivo (CALEGARI e OLIVEIRA, 2016; ANTÓNIO et al., 2018).

A produção de móveis com chapas de madeira processada (MDF) gera quantidade significativa de resíduos. A geração de compósitos a partir desses resíduos é uma alternativa para valorização de produtos e para apontar para um modo de produção mais sustentável (HILLIG et al., 2011; GOMES et al., 2017; FREITAS e LENZ, 2019). Assim, é importante que as empresas e indústrias de MDF viabilizem o aproveitamento de seus resíduos em aplicações diversas a fim de retornar as sobras fabris para o ciclo produtivo, permitindo que a matéria-prima continue a gerar lucro. Além de uma preocupação

ambiental em mitigar efeitos negativos, torna-se também uma questão estratégica para as empresas.

2.4 Resíduos da indústria moveleira

A ABIMOVEL - Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário - descreveu que a produção nacional de móveis no ano de 2017 chegou a US\$ 62,2 bilhões, através de 19,6 mil unidades produtoras, que empregam mais de 268,9 mil funcionários, constituindo, assim, a maior consumidora de insumos madeireiros no Brasil (ABIMOVEL, 2018).

Conforme descreveu o relatório setorial da ABIMOVEL (2018), a indústria moveleira pode ser segmentada em: 1) móveis residenciais (dormitórios, sala de estar, cozinhas, entre outros); 2) móveis para escritório e; 3) móveis institucionais. O consumo do setor em 2018 foi de 573 mil m³ de chapas e, no ano de 2017, o consumo era de 505 mil m³ chapas (IBÁ, 2017), correspondendo a um aumento de 13,46% em menos de um ano.

As chapas de madeira reconstituída surgiram em 1887 nos Estados Unidos, visando reutilizar os resíduos provenientes de serrarias (CARNOS, 1988). Em 1905 foi instalada a primeira fábrica de aglomerado que se difundiu com muita rapidez por todos os grandes centros industriais e comerciais do mundo, chegando ao Brasil em 1965 (CARNOS, 1988). A partir dos anos de 1990, as empresas brasileiras investiram em modernização tecnológica, melhorando a qualidade das placas de madeira reconstituída no país (VIDAL e HORA, 2014).

A principal matéria-prima para a produção dos painéis de madeira reconstituída são as espécies provenientes das florestas plantadas de eucalipto e pinus (PEDRAZZI et al., 2006), podendo gerar materiais tais como: MDF (*Medium Density Fiberboard*), MDP (*Medium Density Particleboard*), HDF (*Density Fiberboard*), ODP (*Oriented Strand Board*), placas aglomeradas e placas compensadas, além da madeira laminada colada (PEDRAZZI et al., 2006).

Assim, deve-se avaliar o potencial e qualidade dos resíduos a fim de mitigar efeitos negativos. Por conseguinte, faz-se imperioso que esses resíduos possam ser aproveitados, retornando ao ciclo produtivo. E esse retorno deve ser viável, inclusive, para pequenas e microempresas, para que possa, de maneira efetiva, obter lucros, evitar desperdícios, inovar nos processos de fabricação e garantir competitividade empresarial sustentável.

3 ESTADO DA ARTE DA PESQUISA SOBRE COMPÓSITOS GERADOS A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS

Através da leitura dos títulos, foram selecionados inicialmente 62 trabalhos, por estarem de acordo com o objetivo desta pesquisa. Posteriormente, 33 pesquisas foram escolhidas pela leitura dos resumos, direcionando o pós-processamento de dados. Seguindo a metodologia de mineração de dados, inicialmente foram selecionados 25 estudos, dentre os quais, 14 deles utilizavam materiais diversos dos recursos madeireiros. Com a leitura mais aprofundada da metodologia e dos resultados, foram extraídos 11 exames que tratam do desenvolvimento, da produção e dos ensaios de compósitos com base em fibras madeireiras

Os resultados dessa busca foram sistematizados em 2 quadros, que podem ser consultados a seguir. Os quadros elencam as seguintes informações: autoria, tipo de material, processo e ensaio. O Quadro 3 elenca as publicações encontradas relacionadas aos processos apenas com fibras de madeira.

Quadro 3 – Publicações encontradas relacionadas aos processos apenas com fibras de madeira

AUTORIA	TIPO DE MATERIAL	PROCESSO	ENSAIO
Hillig et al. (2011)	Resíduo de madeira de pinus MDF Serragem de madeira de eucalipto Polietileno de alta densidade (virgem)	Caracterização granulométrica Mistura por meio de extrusão Mistura manual O material extrusado transformado em pellets Resfriamento Acondicionado	Tração, flexão e impacto - ASTM D638, D790 e D256 Calorimetria diferencial de varredura (DSC) Microscopia eletrônica de varredura (SEM) Resistência à flexão e MOE Resistência ao Impacto

Silva et al. (2013)	Partículas de Madeira Leucena Resina poliuretana vegetal	Corte das partículas Mistura manual Molde Prensa hidráulica calor e pressão Desmoldagem Cura	Avaliação do módulo de resistência à flexão (MOR) Avaliação da densidade aparente e teor de umidade
Barreto, Cunha e Mendes (2016)	Poliuretano semi flexível Serragem de madeira (pó e raspa)	Mistura mecânica Molde de aço Prensagem Cura Desmoldagem	Densidade Aparente Condutividade térmica, calor específico, resistividade e difusividade
Protzek et al. (2016)	Serragem de <i>Pinus taeda</i> Poliuretano <i>Polibond</i>	Mistura com homogeneizador Molde metálico Prensa hidráulica com carga	Densidade -EN 323: 2002 Absorção de água - EN 317:2002 Inchamento de espessura - EN 317:2002
Gomes et al. (2017)	Resíduo de MDF Resina de poliéster	Mistura Molde Prensa pressão Cura	Tração- ASTM D638-03 Flexão em três pontos - ASTM D790-10 Densidade Absorção de água - ASTM 570-88
Freitas e Lenz (2019)	Resíduos de MDF, MDP e OSB Resina à base de tanino	Moagem e classificação Secagem mecânica Mistura Pré-prensagem frio Prensagem mecânica calor e pressão Cura em temperatura ambiente	Teor de umidade, densidade, Inchamento. Arrancamento de parafuso topo e superfície Resistência à flexão e módulo de elasticidade Absorção de Água Caracterização termogravimétrica. NBR 14810-2/2013
Shirosaki (2019)	Partículas de madeira de Pinus Resina poliuretana derivada da mistura de óleos vegetais	Pesagem Mistura manual Mistura mecânica Prensa mecânica manual de sob pressão Prensagem final sob pressão e calor Cura	Densidade, inchamento em espessura e absorção de água Módulo de elasticidade (MOE) Módulo de ruptura (MOR) Tração perpendicular Arrancamento de parafuso de superfície e topo (APT) Análise de variância (ANOVA)

Fonte: Elaboração Própria.

O Quadro 4 relaciona as publicações encontradas relacionadas aos processos mistos com fibras de madeira.

Quadro 4 – Publicações encontradas relacionadas aos processos mistos com fibras de madeira

AUTORIA	TIPO DE MATERIAL	PROCESSO	ENSAIO
Chavooshi e Madhoushi	Pó de MDF Pó de alumínio	Pesagem Mistura	Resistência à flexão, à tração, resistência à retirada dos

(2013)	Polipropileno	Prensagem a quente	fixadores, força de extração de pregos e parafusos - CEN / TS15534: 2007 Inchamento da espessura (TS) e absorção de água (WA) - ASTM D 570 Microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo (FE-SEM)
Lemos e Martins (2014)	Biopolímero Poli (ácido láctico) Compósitos poliméricos Fibras vegetais (Madeira e coco)	Mistura manual Processo de extrusão Pré-aquecidos em prensa quente Resfriados	Resistência à tração Elasticidade resistência à flexão Caracterização térmica (DSC) Microscopia eletrônica de varredura (MEV)
Varanda et al. (2018)	Resíduos de madeira de Pinus Resíduos de casca de aveia Poliuretano à base de óleo de mamona Formaldeído da melamina	Partículas moídas Pesagem Mistura mecânica Prensa mecânica manual Prensa mecânica calor e pressão Desmoldagem Cura	Inchamento da espessura Absorção de água Densidade e razão de compactação - NBR 14810 Análise de variância (ANOVA)
Buzo (2018)	Bagaço de cana-de-açúcar Partículas de Pinus taeda e Pinus elliottii Poliuretano derivado de óleo de mamona Resina ureia-formaldeído	Secagem e limpeza dos resíduos Caracterização granulométrica Mistura mecânica Acomodação das partículas Molde Pré prensagem manual Prensa hidráulica calor e pressão Cura	Inchamento e absorção de água, densidade e teor de umidade Tração perpendicular, módulo de elasticidade e resistência à flexão estática - ABNT NBR 14810-2

Fonte: Elaboração Própria.

A partir dos trabalhos encontrados durante a fase de mineração visual de dados, foi possível estabelecerem-se relações entre os assuntos de forma a abarcar os temas de maneira sistematizada.

3.1 Revisão dos trabalhos estudados

Os trabalhos foram subdivididos em 2 categorias: 1) publicações encontradas relacionadas aos processos apenas com fibras de madeira; e 2) publicações encontradas relacionadas aos processos mistos com fibras de madeira. O assunto foi sistematizado nos subtópicos a seguir.

3.1.1 Compósitos criados a partir de fibras de madeira

Nessa etapa, serão analisados sete artigos. Definem-se como fibras de madeira àquelas que são obtidas a partir da madeira explorada em seu estado original ou dos resíduos de outras indústrias da madeira (HILLIG et al., 2011). Essas fibras podem ser obtidas por diversos métodos, desde o descascamento, passando pelo estilhaçamento e também pelo aproveitamento de resíduos de serragem.

Hillig et al. (2011) utilizaram resíduos de madeira do tipo pinus e eucalipto e de MDF, com processo de extrusão para criarem placas com os novos materiais. Os autores perceberam que os tipos de serragem utilizados no experimento agiram como agentes nucleantes, por conta do alto índice de cristalinidade dos compósitos (HILLIG et al., 2011). A serragem de eucalipto apresentou maior nível de agregação em grânulos, enquanto a serragem de pinus e de MDF apresentaram baixa granulidade aparente (HILLIG et al., 2011). Utilizaram, ainda os ensaios de tração, flexão e impacto; calorimetria diferencial de varredura; microscopia eletrônica de varredura; resistência à flexão e resistência ao impacto (HILLIG et al., 2011). Esses ensaios demonstraram diferenças nas propriedades dos compósitos, o que os autores atribuíram às diferentes granulometrias das serragens (HILLIG et al., 2011). Por fim, demonstraram que a utilização de serragem de MDF é capaz de gerar compósitos com maior resistência à flexão e à tração (HILLIG et al., 2011).

No trabalho de Silva et al. (2013) foram empregadas partículas de madeira Leucena e resina poliuretana vegetal, empregando o método de corte das partículas, mistura manual, moldagem e prensa hidráulica, com uso de calor e pressão, com posterior desmoldagem e cura natural. Os ensaios aplicados foram: avaliação do módulo de resistência à flexão e avaliação da densidade aparente e teor de umidade (SILVA et al., 2013). Esses pesquisadores perceberam que a utilização de 10% de resina poliuretana monocomponente e bicomponente, não atendeu de forma satisfatória apenas a densidade aparente, sendo satisfatória nos demais fatores produtivos, em

especial com alta adesão interna dos monocomponentes (SILVA et al., 2013). Também assinalaram a importância de reduzir o uso de resinas para diminuir os custos de produção (SILVA et al., 2013).

Barreto, Cunha e Mendes (2016) optaram por usar poliuretano semiflexível e serragem de madeira, pó e raspa, com processo de mistura mecânica, prensagem manual e cura natural. Fizeram, ainda, ensaios de densidade aparente, condutividade térmica, calor específico, resistividade e difusividade (BARRETO, CUNHA e MENDES, 2016). Concluíram que a difusividade diminuiu por duas grandezas desfavoráveis, contra uma favorável a esse aumento (BARRETO, CUNHA e MENDES, 2016). Dessa maneira, a difusividade térmica apresentou um comportamento crescente para as diferentes configurações, com menor difusividade térmica, em torno de 0,095 mm²/s, o ganho nessa propriedade térmica representou para as demais configurações um aumento de 9,26% para o PU + Pó e 15,36% para o PU + Raspa (BARRETO, CUNHA e MENDES, 2016).

Protzek et al. (2016) utilizaram a serragem de *Pinus taeda* e Poliuretano *Polibond*, realizaram o processo de mistura com homogeneizador e modelagem com prensa hidráulica. Realizaram três ensaios: densidade; absorção de água; e inchamento de espessura (PROTZEK et al., 2016). Os experimentos realizados pelos pesquisadores demonstraram que a molhagem de todos os materiais ficou mais difícil de se fazer conforme foi diminuindo a quantidade de adesivo de poliuretano, uma vez que usaram resina à 30% e que o óleo de mamona possui características hidrofóbicas (PROTZEK et al., 2016). Dessa forma, os valores de absorção de água e de inchamento são bastante baixos, o que demonstra a capacidade desse compósito de substituir os materiais empregados na indústria moveleira e da construção civil (PROTZEK et al., 2016).

Gomes et al. (2017) beneficiaram o resíduo de MDF com resina de poliéster, utilizando mistura mecânica e prensa de pressão, com cura natural. Fizeram ensaios de tração, flexão em três pontos, densidade e absorção de água (GOMES et al., 2017). Os pesquisadores demonstraram a viabilidade para fabricação do compósito e para aplicação dele em “peças e estruturas

onde as solicitações de esforços mecânicos são menores tais como embalagens, estantes, objetos de decoração, acentos sanitários e prateleiras” (GOMES et al., 2017, p. 53). Também assinalaram que há apelo visual para a placa produzida, contudo, os resultados dos ensaios mecânicos não indicaram melhorias nas propriedades de resistência à tração e à flexão, por conta da utilização de resina de poliéster (GOMES et al., 2017).

Freitas e Lenz (2019) utilizaram resíduos de MDF, MDP e OSB e resina à base de tanino, dois adesivos diferentes, A e B, para seu experimento. Empregaram moagem e classificação das fibras, com secagem mecânica, mistura, pré-prensagem a frio e prensagem mecânica calor e pressão, com cura em temperatura ambiente (FREITAS e LENZ, 2019). Realizaram testes de teor de umidade, densidade, Inchamento, arrancamento de parafuso topo e superfície, resistência à flexão e módulo de elasticidade, absorção de Água Caracterização termogravimétrica, todos aplicando a NBR 14810-2/2013 (FREITAS e LENZ, 2019). Os painéis produzidos não atenderam às normas quanto aos testes de absorção de água, flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafuso (FREITAS e LENZ, 2019). Apesar disso, tiveram bons desempenhos físicos nas avaliações de teor de umidade e densidade. Em diversas das avaliações realizadas, o adesivo A teve desempenho superior ao do adesivo B; concluiu-se que os painéis fabricados com o adesivo à base tanino possuem “características similares aos produzidos industrialmente com a utilização do adesivo fenol-formaldeído, indicando o início de decomposição térmica da madeira em torno de 250 °C” (P. 151, FREITAS e LENZ, 2019). Mesmo com alguns resultados negativos dentro do escopo de experimentos, os autores conseguiram demonstrar o potencial técnico para produção de painéis fabricados a partir dos resíduos de MDP, MDF e OSB (FREITAS e LENZ, 2019).

Para encerrar essa etapa da revisão, o trabalho de Shirotsaki (2019) narrou o experimento que utilizou partículas de madeira de pinus e resina poliuretana derivada da mistura de óleos vegetais. Esse autor valeu-se tanto da mistura manual quanto da mistura mecânica, com pesagem inicial dos elementos e posterior prensagem mecânica manual de sob pressão e

prensagem final sob pressão e calor, para criar uma placa que passou por cura natural antes da etapa de ensaios (SHIROSAKI, 2019). Ele seguiu com testes de densidade, inchamento em espessura e absorção de água, módulo de elasticidade — MOE, módulo de ruptura — MOR, tração perpendicular, arrancamento de parafuso de superfície e topo — APT e análise de variância — ANOVA (SHIROSAKI, 2019).

Diante disso, é perceptível que na composição dos compósitos com matriz polimérica utilizam-se tanto as resinas sintéticas derivadas do petróleo, quanto às resinas naturais derivadas de plantas. Além disso, as resinas vegetais utilizadas como matrizes são isentas de solventes, possibilitando seu manuseio e aplicações sem cuidados especiais, já que não possuem toxicidade, e seu uso é mais indicado por ser considerada ecologicamente correta (ROSA, 2019). Apresentam ainda a vantagem de contribuir para a melhoria das propriedades mecânicas, físicas e químicas dos compósitos pelo seu excelente desempenho, se destacando por sua eficiência energética, em razão de possibilitar cura a frio (SHIROSAKI, 2019).

O alto custo ainda é uma das barreiras relacionadas às desvantagens da utilização da resina vegetal. Contudo, Silva et al., (2013) concluíram que empregar quantidades menores de resina podem favorecer a diminuição dos custos finais do produto, de modo que sejam mais utilizados pelas indústrias

3.1.2 Compósitos criados a partir de fibras de madeira com adição de outros tipos de fibras e/ou materiais

Para esse item, foram selecionados quatro ensaios que utilizaram além das fibras de madeira outros subprodutos da produção fabril, anteriormente definidos como resíduos.

Chavooshi e Madhoushi (2013) utilizaram pó de MDF combinado ao pó de alumínio, com polipropileno. A metodologia de produção incluiu pesagem, mistura manual e prensagem a quente, com os ensaios de resistência à flexão, à tração, resistência à retirada dos fixadores, força de extração de pregos e parafusos, inchamento da espessura e absorção de água, e microscopia

eletrônica de varredura de emissão de campo, posteriores à confecção dos compósitos (CHAVOOSHI e MADHOUSHI, 2013). Os resultados demonstraram que o pó de alumínio é incompatível com o pó de MDF de forma que os compósitos produzidos tiveram resultados bastante negativos dentro dos ensaios realizados (CHAVOOSHI e MADHOUSHI, 2013).

Lemos e Martins (2014) empregaram um tipo de biopolímero, com base em ácido láctico e outros compósitos poliméricos, somados às fibras vegetais de madeira e de coco. Optaram pela mistura manual, combinado ao processo de extrusão, com prensagem quente e resfriamento posterior (LEMOS e MARTINS, 2014). Os ensaios aplicados envolveram resistência à tração, elasticidade, resistência à flexão, caracterização térmica e microscopia eletrônica de varredura. Concluíram que “Os biocompósitos (...) reforçados com fibras de madeira apresentaram propriedades ligeiramente superiores quando comparados aos (...) com fibras de coco” (LEMOS e MARTINS, 2014, p. 196). No mesmo sentido, perceberam que os biocompósitos apresentaram baixa adesão interfacial entre as fibras e matriz poliméricas (LEMOS e MARTINS, 2014).

A equipe de Varanda et al. (2018) empregou resíduos de madeira de pinus e resíduos de casca de aveia combinados ao poliuretano à base de óleo de mamona e ao formaldeído da melamina. O processo de produção incluiu a moagem das partículas, pesagem, mistura mecânica, prensa mecânica manual, prensa mecânica calor e pressão, desmoldagem e cura (VARANDA et al., 2018). Os ensaios aplicados foram: inchamento da espessura, absorção de água, densidade e razão de compactação e análise de variância (VARANDA et al., 2018). O grupo determinou que os painéis produzidos encontravam-se na escala de alta densidade (acima de 800 kg/m³) e que os painéis produzidos com poliuretano à base de óleo de mamona tiveram desempenho melhor do que os painéis produzidos com melamina e formaldeído (VARANDA et al., 2018). Por fim, verificaram que os painéis que utilizam de 75% a 100% de partículas de casca de aveia ficaram mais densos, contudo, com desempenho inferior aos painéis que usaram de 0,25% a 50% de casca de aveia em sua composição (VARANDA et al., 2018).

A pesquisa de Buzo (2018) empregou o bagaço de cana-de-açúcar somado às partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, com poliuretano derivado de óleo de mamona e resina ureia-formaldeído. Inicialmente, fez-se secagem e limpeza dos resíduos, com caracterização granulométrica, mistura mecânica, acomodação das partículas, molde através de pré-prensagem manual, seguida por prensagem hidráulica, de calor e de pressão, com posterior cura dos compósitos produzidos (BUZO, 2018). Os ensaios foram: inchamento e absorção de água, densidade e teor de umidade e tração perpendicular, módulo de elasticidade e resistência à flexão estática, segundo a ABNT NBR 14810-2 (BUZO, 2018). A pesquisa demonstrou a viabilidade de produção de painéis aglomerados de partículas de madeira misturadas ao bagaço de cana-de-açúcar, com porcentagem de 60% de madeira, com 40% de bagaço de cana-de-açúcar e 10% de adesivos PU/M e ureia-formaldeído, com bons resultados nos ensaios aplicados (BUZO, 2018). A autora também comentou sobre a possibilidade de utilizar o óleo de mamona como forma de tornar o produto hidrofóbico e mais sustentável, uma vez que a planta da qual se extrai o óleo é abundante no Brasil (BUZO, 2018). Também assinalou a possibilidade de utilizarem-se os painéis produzidos com finalidade estrutural por conta de sua resistência à flexão e à tração (BUZO, 2018).

Todas as pesquisas apresentadas apontaram para possibilidade de aprofundamento tecnológico e científico sobre a produção de compósitos a partir de resíduos da indústria madeireira e moveleira.

Também é possível perceber que as resinas sintéticas são amplamente utilizadas e conforme Buzo (2018) e Varanda (2018) oferecerem vantagens, dentre as quais podem ser ressaltadas as seguintes: baixo custo, resistência química, facilidade simplificada no processo produtivo por moldagem, boa resistência a altas temperaturas, uniformidade, boa compatibilização com os reforços e facilidade de acesso no mercado nacional.

Outro achado importante que deve ser ressaltado nesse momento é que procedimentos de produção de compósitos, usando a compactação sem serem submetidos ao calor, demonstraram que as propriedades físicas e mecânicas avaliadas foram superiores ao das normas utilizadas, confirmando

que a cura a frio é um procedimento válido na perspectiva de criação de produtos resistentes (BARRETO. et al., 2016; 2016; PROTZEK. et al., 2016). No entanto, outros estudos sugerem que a qualidade dos compósitos é superior quando prensadas sob temperatura e pressão até 100 °C (BUZO, 2018; SHIROSAKI, 2019).

O estudo produzido por Varanda et al. (2018), ofereceu um bom comparativo entre a confecção de compósitos utilizando como matriz a resina sintética e a resina vegetal, demonstrando a vantagem do uso da resina vegetal, apresentando potencialidade para o uso na produção de compósitos versáteis para indústria moveleira e para arquitetura.

As fibras naturais são citadas em alguns estudos como excelente reforço para o desempenho mecânico de compósitos, possuem propriedades de baixa densidade, com características de resistência e rigidez (CHAVOOSHI e MADHOUSHI, 2013; LEMOS e MARTINS, 2016; BUZO, 2018). A produção de compósitos ainda oferece a vantagem ambiental ao contribuir com o reaproveitamento de resíduos, produção de baixos custos, economia de energia, mitigação de impactos negativos ao meio ambiente, estabelecendo ótima relação com o consumo consciente dos recursos naturais (CHAVOOSHI e MADHOUSHI, 2013; BUZO, 2018).

Os trabalhos demonstraram que fatores como o tamanho da fibra pode ser fundamental para o bom desempenho físico e mecânico do compósito, quando homogeneizado com a matriz, surgindo materiais mais leves, resistentes, baratos e ecológicos (HILLIG. et al., 2011; BARRETO, CUNHA e MENDES, 2016; BUZO, 2018; FREITAS e LENZ, 2019).

Quanto aos compósitos desenvolvidos com partículas de madeiras, de granulometria fina, média e grossa provenientes do processo de serragem, podem influenciar positivamente nas propriedades químicas e mecânicas (HILLIG. et al., 2011). As partículas podem ainda ser consideradas como um eco compósito, por substituir a madeira natural empregada nas indústrias, sendo a sua utilização uma ótima alternativa para ajudar na preservação do meio ambiente (BARRETO, CUNHA e MENDES, 2016; PROTZEK. et al., 2016). Além disso, utilizar fibras naturais ajuda a reduzir o valor final dos

produtos, apesar do baixo desempenho de alguns dos biocompósitos produzidos (LEMOS e MARTINS, 2014).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa visou demonstrar as possibilidades de uso dos resíduos advindos da indústria, sobretudo àquela relacionada ao setor madeireiro e moveleiro, para criação de novos compósitos e pertinente retorno de matéria-prima para o ciclo produtivo. Sendo assim, a revisão valida-se como contribuição para a gestão de resíduos sólidos, firmando como exemplo a possibilidade de destinar corretamente os resíduos industriais moveleiros.

A pesquisa inicialmente retornou com 73 publicações durante o período de 2010 a 2019, no entanto, o levantamento qualitativo possibilitou o afunilamento das pesquisas a fim de atingir o objetivo proposto para o presente trabalho. O estudo dos 11 exames possibilitou o melhor entendimento sobre o desenvolvimento, da produção e dos ensaios de compósitos com base em fibras madeireiras. Dessa forma, é possível aplicar o presente trabalho como fonte inicial para pesquisas que visem a compreensão e utilização da sistemática de produção de produtos sustentáveis baseados na reciclagem de fibras de MDF.

Percebe-se também a contribuição com o estudo da sustentabilidade a partir da valorização dos resíduos sólidos. A transformação de um problema ambiental em uma fonte viável de lucro pode ser positiva para pequenas empresas e para microempresas, além de apontar uma solução que pode ser perseguida de maneira comunitária através de associações populares. A possibilidade de gerar-se renda a partir de recursos que, de outra forma, seriam descartados como lixo, é bastante positivo por retomar o tripé da sustentabilidade: social, ambiental e econômico. No entanto, o envolvimento da sociedade e da indústria, em conjunto, é salutar para que essas possibilidades sejam viáveis no ambiente produtivo atual do Brasil.

Assinala-se como possibilidade de estudo futuro a produção de novos compósitos com uso de fibras madeireiras. Também há a perspectiva de

aprofundamento do estudo sobre compósitos explorando-se outros tipos de fibras vegetais que sejam encontradas com facilidade no Brasil. Portanto, o uso de resíduos da indústria madeireira e moveleira pode ser viável para obter novos materiais e produtos com maior valor agregado. De igual forma, é uma alternativa sustentável para mitigar os danos ao meio ambiente por toda a cadeia produtiva.

REFERÊNCIAS

- ABIMÓVEL. Associação Brasileira das Indústrias de Mobiliário. **Relatório Setorial da Indústria de Móveis no Brasil**. 13, São Paulo: IEMI, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos** – Classificação. Solid waste – Classification. Palavra-chave: Resíduo sólido. Número de referência: 13.030.10. 71 páginas.
- _____. NBR 14810-2: **painéis de partículas de média densidade**: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013b.
- ALONGE, F. A.; CHAMMA, P. V. C.; ROCHA, R. R. **Produtos ecoeficientes na arquitetura: a produção de painéis feitos a partir do compósito de plástico e casca de arroz**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, p. 13–27, 2014.
- ANTÔNIO, J.; ANTÔNIO, T.; MARQUES, B.; ALMEIDA, J. A. S.; PINTO, V. **Application of rice husk in the development of new composite boards**. Construction and Building Materials. v. 176, p. 432–439, 2018.
- BALLA, V. K.; KATE, K. H.; SATYAVOLU, J.; SINGH, P.; TADIMETI, J. G. D. **Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects**. Composites Part B, v. 174, n. May, p. 106956, 2019.
- BARRETO., F. M.; CUNHA., R. A. D.; MENDES., J. U. L. **Análise térmica de um eco compósito de poliuretano de mamona**. HOLOS. ISSN 1808-1600. v. 7, p. 110–120, 2016.
- BLUM, A.; MERINO, E. A. D.; MERINO. G. S. A. D. **Método visual para revisão sistemática em Design com base em conceitos da Mineração de Dados**. Visual method for systematic review in design based on concepts of Data Mining. DA-Pesquisa, v.11, p. 124–139, 2016.
- BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
- BUZO, A. L. S. C. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de pinus e bagaço de cana empregando-se ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Dissertação. Orientador: Doutor Sérgio Augusto Mello da Silva. Ilha Solteira, 2018.

CALEGARI, E. P.; OLIVEIRA, B. F. DE. **Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos.** Sustentabilidade em Debate, v. 7, n. 1, p. 140–155, 2016.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

CARNOS, B. **Madeira aglomerada: conceito e utilização.** Sagra, 1988.

CHAVOOSHI, A.; MADHOUSHI, M. **Mechanical and physical properties of aluminum powder / MDF dust / polypropylene composites.** Construction and Building Materials, v. 44, p. 214–220, 2013.

DONATO, C. J.; TAKENAKA, E. M. M. **O Aproveitamento de Resíduos de Madeira para o Desenvolvimento Sustentável.** The Wood Waste Utilization for Sustainable Development. La utilización de residuos de madera para el Desarrollo Sostenible. p. 67–80, 2016.

FREITAS, A.; LENZ, D. M. **Produção de painéis de madeira com resíduos de MDF e MDP da indústria moveleira e resina à base de tanino de Acácia Negra.** ENGEVISTA. ISSN ONLINE 2317-6717. p. 141–153, 2019.

GOMES, J. W.; GODOI, G. S.; SOUZA, L. G. M.; SOUZA, L. G. V. M. **Absorção de água e propriedades mecânicas de compósitos poliméricos utilizando resíduos de MDF.** Polimeros, v. 27, p. 48–55, 2017.

HILLIG, É.; IWAKIRI, S.; HASELEIN, C. R.; BIANCHI, O.; HILLIG, D. M. **Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (hdpe) e serragem da indústria moveleira – parte ii – extrusão em dupla-rosca.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 335–347, 2011.

IBÁ. Relatório 2017. **Indústria brasileira de árvores,** 2017.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Industriais.** 2012.

LE MOS, A. L.; MARTINS, R. M. **Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos à Base de Poli (Ácido Lático) e Fibras Naturais** Development and Characterization of Polymeric Composites. v. 24, p. 190–197, 2014.

PEDRAZZI, C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose.** Ciência Florestal, v. 16, p. 201–212, 2006.

PROTZEK, G. R.; KOLOSKI, J.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; NASCIMENTO, E. M.; AZEVEDO, E. **Análise das propriedades físicas do compósito de serragem e poliuretano derivado de óleo de mamona.** XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. 09-11/Mar, 2016, Curitiba, PR, Brasil 2016.

QUARESMA, D. M. M.; MOURA, H. T. **Design para a Sustentabilidade Ampla de Sistemas Produto-Serviço**: Estudo de Caso de Empresa de Design de Acessórios de Moda em Couro. Estudos em Design, p. 66–91, 2016.

QUIRINO., M. G.; SANTOS., P. A. B. S. DOS; VASCONCELLOS NETO., L. G. M. V. **Compósito laminar produzido com a fibra da semente do açai** (Euterpe precatoria). In: ANAIS DO CONGRESSO INTERNACIONAL E WORKSHOP DESIGN & MATERIAIS. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2017.

SCIENCE DIRECT. Plataforma para coleta de artigos em periódicos indexados. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>, sem data.

SHIROSAKI, R. K. **Caracterização de painéis de partículas de madeira tratada com ccb confeccionados com resina poliuretana mista**. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Estruturas e Engenharia Civil. Orientador: Doutor André Luis Christoforo. São Carlos, 2019.

SILVA, S. A. M.; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; ALMEIDA, D. H.; SEGANTINI, A. A. S.; LAHR, F. A. R. **Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona**. Ciência Rural, v. 43, n. 8, p. 1399–1404, 2013.

VARANDA, L. D.; YAMAJI, F. M.; SANTOS, L. R. O.; SILVA, D. A. L.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Physical performance of particleboards using castor oil-based adhesive**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 22, n. 10, p. 707–712, 2018.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. BNDS setorial, v. 40, p. 323–384, 2014.

Enviado em: 04/08/2021

Aceito em: 21/06/22

Editor-Chefe Prof. Dr. Antonio Marcio Haliski

Editor-Adjunto Prof^a Dr.^a Gislaine Garcia de Faria

Editor-Adjunto Prof^a Dr.^a Maria Lúcia Buher Machado