

RESSALVA

Atendendo a solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 21/02/2026.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANANDA GALBIATI BARRERA DE PAULA E SILVA

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRAS
DE PINUS SP DE INDÚSTRIA MOVELEIRA E AGLUTINADOS COM PUR E
PET**

**Ilha Solteira
2024**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANANDA GALBIATI BARRERA DE PAULA E SILVA

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRAS DE
PINUS SP DE INDÚSTRIA MOVELEIRA E AGLUTINADOS COM PUR E PET**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Especialidade: Engenharia de Construção Civil.

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva

Orientador

Ilha Solteira

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S586p Silva, Ananda Galbiati Barrera de Paula e.
Painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeiras de *Pinus sp* de indústria moveleira e aglutinados com PUR e PET / Ananda Galbiati Barrera De Paula e Silva. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
115 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2024

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva

Inclui bibliografia

1. Painéis aglomerados. 2. *Pinus sp*. 3. Poliuretano derivado de óleo de mamona. 4. Politereftalato de etileno. 5. Resíduo industrial.


Amanda Sertori dos Santos

Bibliotecária - CRB/8-9061
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao
Usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE MADEIRAS DE PINUS SP DE INDÚSTRIA MOVELEIRA E AGLUTINADOS COM PUR E PET

AUTORA: ANANDA GALBIATI BARRERA DE PAULA E SILVA

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Engenharia Civil, área: Estruturas pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP

Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO (Participação Virtual) Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR

Prof. Dr. JOÃO VICTOR FAZZAN (Participação Virtual)
Departamento de Construção Civil / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP

Ilha Solteira, 21 de agosto de 2024

RESUMO

A alta demanda por recursos nas indústrias moveleiras e no setor da construção civil e o crescente índice de descarte de resíduos industriais, florestais, agroindustriais e de plásticos, tem impulsionado a realização de muitos estudos visando o aproveitamento de resíduos para agregar valor em novos produtos. Este trabalho se propõe avaliar a eficiência do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR) em conjunto com o pó de Politereftalato de Etileno (PET) como aglutinantes em painéis produzidos com partículas de madeira, proveniente de resíduo de *Pinus sp.* As partículas demadeira serão classificadas de acordo com a granulometria proposta para produção de painéis aglomerados, ou seja, partículas com comprimento entre 2 e 10 mm, em seguida serão secas ao sol. Os painéis serão produzidos considerando-se misturas de partículas de madeira de *Pinus sp* e os aglutinantes (PUR e PET), conforme descrito na metodologia e na *definição das propostas de misturas*. O teor de umidade a ser considerado para as partículas de madeira foi de 3 e 5 % e foram produzidos 3 painéis para cada mistura com densidade nominal de 0,55 g/cm³, pressão de 5 MPa, temperatura de 160°C e 10 minutos de tempo de prensagem. As propriedades físicas e mecânicas foram avaliadas de acordo com os documentos normativos da NBR 14810-2:2018, ANSI A208.1 (2016) e referências bibliográficas nacionais e internacionais. Internacionais e para os principais resultados verificou-se que os valores de adesão interna foram bem significativos nos painéis das misturas 1 (75% *Pinus sp*, 15% PET e 10% PUR) e 3 (65% *Pinus sp*, 30% PET e 5% PUR), pois os painéis apresentaram resultados para serem classificados pela norma ABNT NBR 14810-2:2018 e misturas 1 (75% *Pinus sp*, 15% PET e 10% PUR), 2 (50% *Pinus sp*, 40% PET e 10% PUR), 3 (65% *Pinus sp*, 30% PET e 5% PUR) e 4 (40% *Pinus sp*, 55% PET e 5% PUR), devido aos painéis apresentarem resultados para serem classificados pela ANSI A2081.

Palavras-chave: painéis aglomerados; *Pinus sp*; poliuretano derivado de óleo de mamona; politereftalato de etileno; resíduo industrial.

ABSTRACT

The high demand for resources in the furniture and construction industries and the increasing disposal rates of industrial, forestry, agro-industrial, and plastic waste have driven numerous studies aimed at utilizing waste to add value to new products. This study aims to evaluate the efficiency of castor oil-derived polyurethane adhesive (PUR) in combination with Polyethylene Terephthalate (PET) powder as binders in panels produced with wood particles from *Pinus* sp. waste. The wood particles will be classified according to the particle size proposed for particleboard production, i.e., particles with lengths between 2 and 10 mm, and then sun-dried. The panels will be produced considering mixtures of *Pinus* sp. wood particles and binders (PUR and PET), as described in the methodology and the definition of the proposed mixtures. The moisture content considered for the wood particles was 3 and 5%, and 3 panels were produced for each mixture with a nominal density of 0.55 g/cm³, a pressure of 5 MPa, a temperature of 160°C, and 10 minutes of pressing time. The physical and mechanical properties were evaluated according to the normative documents NBR 14810-2:2018, ANSI A208.1 (2016), and national and international bibliographic references. For the main results, it was found that the internal adhesion values were very significant in the panels of mixtures 1 (75% *Pinus* sp, 15% PET e 10% PUR) and 3 (65% *Pinus* sp, 30% PET e 5% PUR), as the panels presented results to be classified by the ABNT NBR 14810-2:2018 standard, and mixtures 1 (75% *Pinus* sp, 15% PET e 10% PUR), 2 (50% *Pinus* sp, 40% PET e 10% PUR), 3 (65% *Pinus* sp, 30% PET e 5% PUR), and 4 (40% *Pinus* sp, 55% PET e 5% PUR) due to the panels presenting results to be classified by ANSI A208.1.

Keywords: particleboard, *Pinus* sp; polyurethane derived from castor oil; polyethylene terephthalate; industrial waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição florestal brasileira por estado e por gênero cultivado.	16
Figura 2 - Consumo aparente brasileiro de painéis de madeira - 1.000 m ³	20
Figura 3 - Distribuição de empresas de painéis (MDP, MDF e Chapa de Fibras).	21
Figura 4 - Cadeia produtiva dos painéis aglomerados.	22
Figura 5 – Esquemas de distribuição de partículas dos painéis aglomerados.	24
Figura 6 – Pós-consumo de PET no Brasil.	41
Figura 7 – Destinação e consumidores do PET no Brasil.	42
Figura 8 – Geração de resíduo moveleiro no processo de usinagem.	51
Figura 9 – Volume de resíduo gerado diariamente por indústria moveleira.	52
Figura 10 – Partículas de Pinus sp descartadas por indústria moveleira.	52
Figura 11 – Agitador elétrico de peneiras.	56
Figura 12 – Conjunto de peneiras para determinação da composição granulométrica.	57
Figura 13 – Balança térmica para determinação do teor de umidade das partículas.	59
Figura 14 – Ilustração das etapas para produção dos painéis.	60
Figura 15 – Desenho esquemático do cp para determinação da densidade.	61
Figura 16 – Desenho esquemático do cp para o ensaio de Flexão Estática.	64
Figura 17 – Desenho esquemático para a realização do ensaio de flexão.	66
Figura 18 - Posicionamento de corpo de prova para ensaio de tração perpendicular.	68
Figura 19 – Etapas para produção de um painel de partículas em prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.	69
Figura 20 – Curva "S" para composição granulométrica do PET.	73
Figura 21 – Curva "S" para composição granulométrica do PET.	75
Figura 22 – MEV da mistura com 75% Pinus, 15% PET e 10% de PUR; (a) imagem com a definição maior; (b) imagem com a definição menor.	97
Figura 23 – MEV da mistura com 50% Pinus, 40% PET e 10% de PUR; (a) imagem com a definição maior; (b) imagem com a definição menor.	98
Figura 24 – MEV da mistura com 65% Pinus, 30% PET e 5% de PUR; (a) imagem com a definição maior; (b) imagem com a definição menor.	98
Figura 25 – MEV da mistura com 40% Pinus, 55% PET e 5% de PUR; (a) imagem com a definição maior; (b) imagem com a definição menor.	99
Figura 26 – MEV da mistura com 50% Pinus, 50% PET e 0% de PUR; (a) imagem com a definição maior; (b) imagem com a definição menor.	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores mínimos das propriedades físicas e mecânicas informados pela norma NBR 14810-2 (2018) e suas classificações.....	23
Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas de espécies de Pinus.	29
Tabela 3 – Produção e reciclagem de plástico no mundo em toneladas.	39
Tabela 4 – Propriedades físicas e mecânicas do PET.	41
Tabela 5 – Propostas de misturas para produção dos painéis aglomerados.	54
Tabela 6 – Composição granulométrica das partículas de PET.....	73
Tabela 7 – Composição granulométrica das partículas de Pinus.....	74
Tabela 9 – Teor de umidade das partículas de Pinus e PET.	76
Tabela 10 – Massa específica das partículas de Pinus e PET.....	76
Tabela 11 – Classificações normativas de Densidade.	77
Tabela 11 – Densidade das misturas e classificações normativas segundo ABNT NBR 14810-2 (2018) e ANSI A208.1 (2016).	77
Tabela 12 – Síntese dos resultados das densidades e dos teores de umidade.....	79
Tabela 13 – Síntese dos resultados das absorções e inchamentos após 24h.	81
Tabela 14 – Resultados médios de MOR, CV e Desvio padrão.....	82
Tabela 15 – Resultados médios para MOE, CV e Desvio padrão.....	83
Tabela 16 – Valores médios para o ensaio de Tração Perpendicular (TP), CV e Desvio padrão para respectivas misturas.	85
Tabela 17 – Síntese dos resultados de MOE, MOE e TP dos painéis fabricados.....	86
Tabela 18 – Resultados do teste de contraste de médias de Tukey das propriedades físicas e mecânicas afetadas pelos teores de partículas de madeira de Pinus.....	87
Tabela 19 – Resultados do teste de contraste de médias de Tukey das propriedades físicas e mecânicas afetadas pelos teores de partículas de PET.....	88
Tabela 20 – Resultados do teste de contraste de médias de Tukey das propriedades físicas e mecânicas afetadas pelos teores do adesivo PUR.	89
Tabela 21 – Análise dos resultados obtidos nas propriedades dos painéis e suas respectivas misturas.....	90
Tabela 22 – Limites estabelecidos pela ABNT NBR 148410-2 (2018) para classificação dos painéis e apresentação de Mistura que atendeu a cada classificação.	91
Tabela 23 – Legendas de siglas e orientações de uso das classificações conforme NBR 148410-2 (2018).	92
Tabela 24 – Requisitos normativos da ANSI A208.1 (2016) e as respectivas classificações das misturas.	93
Tabela 25 – Legendas de siglas e orientações de uso das classificações conforme ANSI A208.1 (2016).	94
Tabela 26 – Propriedades físicas e mecânicas das misturas.....	95
Tabela 27 – Propostas de misturas para produção dos painéis aglomerados.	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	14
2.1	Objetivo Geral.....	14
2.2	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Panorama do setor florestal brasileiro	15
3.2	Painéis à base de madeira	16
3.3	Painéis Aglomerados.....	17
3.4	Definição.....	18
3.5	Produção, Fabricação e Classificação	19
3.6	Propriedades e parâmetros relacionados ao desempenho dos painéis	24
3.7	Densidade	25
3.8	Geometria das partículas.....	26
3.9	Teor de umidade das partículas	26
3.10	Pressão, tempo e temperatura de prensagem	28
3.11	Madeira Pinus sp.....	28
3.12	Resíduos madeireiros na fabricação dos painéis	31
3.13	Adesivos	33
3.14	Adesivo bicomponente poliuretano derivado de mamona (PUR)	34
3.15	Polímeros Plásticos	37
3.16	PET (Politereftalato de Etileno)	40
3.16.1	Madeira plástica produzida com termoplásticos reciclados	43
3.16.2	Painéis aglomerados com PET reciclado	46
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
4.1	Materiais	51
4.1.1	Madeira de Pinus sp.....	51
4.1.2	Adesivo poliuretano bicomponente derivado de mamona (PUR)	53
4.1.3	Politereftalato de Etileno (PET)	53
4.2	Métodos.....	53
4.2.1	Definição das propostas de misturas.....	53
4.2.2	Preparação dos resíduos	55
4.2.3	Classificação granulométrica das partículas.....	56

4.2.4	Ensaio para determinação da composição granulométrica das propostas de madeira	56
4.2.5	Umidade das partículas.....	58
4.2.6	Produção dos painéis aglomerados	59
4.2.7	Ensaio físicos.....	61
4.2.7.1	Densidade (D)	61
4.2.7.2	Umidade (U)	62
4.2.7.3	Inchamento em espessura após 24h (I24h) e Absorção de água após 24 h (A24h)	63
4.2.8	Ensaio mecânicos.....	64
4.2.8.1	Ensaio de flexão estática.....	64
4.2.8.2	Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR)	65
4.2.8.3	Módulo de Elasticidade (MOE)	66
4.2.8.4	Resistência à Tração Perpendicular (TP)	67
4.2.9	Produção dos painéis aglomerados	68
4.2.10	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	70
4.2.11	Análise estatística	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	72
5.1	Composição granulométrica	72
5.2	Umidade das partículas	75
5.3	Massa específica das partículas.....	76
5.4	Densidade	76
5.5	Teor de umidade dos painéis	78
5.6	Inchamento em espessura após 24h (I24h) e Absorção de água após 24h (A24h).....	79
5.7	Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR)	81
5.8	Módulo de Elasticidade (MOE)	82
5.9	Resistência à Tração Perpendicular (TP)	84
5.10	Classificação de acordo com ABNT NBR 14810-2 (2018) e ANSI A208.1(2016).....	89
5.11	Considerações.....	94
5.12	Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	96
5.12.1	Análise dos painéis da Mistura 1 (75% Pinus sp , 15% PET e 10% PUR) .	96
5.12.2	Análise dos painéis da Mistura 2 (50% Pinus ssp, 40% PET e 10% PUR)	97

5.12.3	Análise do painéis da Mistura 3 (65% Pinus sp, 30% PET e 5% PUR)	98
5.12.4	Análise dos painéis da Mistura 4 (40% Pinus sp, 55% PET e 5% PUR)	99
5.12.5	MEV – Mistura 5 (50% Pinus sp, 50% PET e 0% PUR)	99
6	CONCLUSÃO	101
	REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

O uso racional dos recursos naturais é de crucial importância para a bioeconomia e é um dos princípios fundamentais dos objetivos de desenvolvimento sustentável (Pedzik *et al.*, 2021).

Com o crescimento populacional e o incentivo na otimização da madeira maciça, a busca por matérias-primas alternativas vem sendo cada vez mais visadas em muitos setores, principalmente no setor moveleiro e na construção civil (Basboga *et al.* 2023).

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2014), a escassez de madeira decorrente dos desmatamentos das florestas naturais ao longo do tempo e as limitações de seu uso na forma natural, devido a problemas de heterogeneidade e anisotropia, também incentivaram os estudos sobre sua utilização de maneira racional possibilitando maior aproveitamento da matéria-prima.

Conforme dados mais recentes do Instituto de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), a produção de madeira em tora foi de 286,2 milhões de m³ no território brasileiro, enquanto o consumo aparente de madeira foi de 211,5 milhões de m³. Esse valor representa uma redução em relação aos anos anteriores, resultado da queda da produção de madeira nativa e do aumento do consumo de madeira de plantações florestais.

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria de Móveis (ABIMÓVEL, 2020) e Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2020), dentre os maiores consumidores de madeira no território nacional, o setor moveleiro se destaca com o consumo aproximado de 8,8 milhões de m³ em tora e a construção civil com o consumo de 8,3 milhões de m³ no ano de 2020. Esse número representa um crescimento de 5,7% em relação ao ano anterior.

De acordo com o Sistema Nacional de Informações Florestais, o setor florestal brasileiro é responsável por 7,3% (US\$ 10,3 bilhões) das exportações totais do país e representa cerca de 3,5% (US\$ 37,3 bilhões) do PIB – Produto Interno Bruto brasileiro. O seguimento de madeira serrada, compensados e subprodutos, por sua vez, representa um total de US\$ 2,9 bilhões para a economia, o que demonstra sua relevância no cenário da economia nacional (SNIF, 2020).

Considerando promover a iniciativa do manejo florestal responsável e maximizar seu aproveitamento, uma das formas de utilizar os materiais oriundos da

produção florestal é a produção dos painéis aglomerados, de forma a conceder um destino mais nobre às madeiras de dimensões ou qualidades inferiores (Guimarães Júnior, 2008).

Os painéis de madeira reconstituída são produzidos a partir de diferentes etapas de desagregação da madeira e incorporados por adição de adesivos sintéticos, submetidos à ação de pressão e temperatura constante, para conformação de chapas que possibilitam uma ampla gama de aplicabilidade, sendo as principais aplicações no setor moveleiro, fabricação de pisos e na construção civil (Araújo *et al.*, 2019; Iwakiri; Trianoski, 2020; Mendes ., 2012; Bertolini *et al.*, 2011).

Segundo a Associação Brasileira de Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA, 219), a produção de painéis aglomerados no Brasil obteve um crescimento significativo na última década. Em 2010, a produção nacional foi de 6,8 milhões de m³, enquanto em 2019, esse número alcançou a marca de 11,6 milhões de m³, representando um aumento de aproximadamente 70% em 10 anos.

Dentre suas vantagens, os painéis de madeira aglomerada constituídos de resíduos e sobras de madeira provenientes do processo de produção no setor industrial possibilitam agregar valor, promover o aproveitamento integral da matéria-prima, evitar o descarte inapropriado do resíduo e principalmente, proporcionar a criação de novos produtos com valor agregado capazes de atender às demandas do mercado.

Embora ainda seja incomum na indústria, a utilização de resíduos de madeira apresenta potencial econômico, pois tais resíduos podem servir como formadores da matriz principal do produto em painéis de MDF (*Medium Density Fiberboard*) e MDP (*Medium Density Particleboard*) (Araújo *et al.*, 2019).

Segundo a Revista da Madeira (REMADE, 2014), no decorrer dos anos surgiram inovações no setor industrial como desenvolvimento de prensas contínuas, que permitiram maior produtividade e menores custos de produção e, a partir do avanço tecnológico e majoração na capacidade de produção, provocaram o aumento da flexibilidade operacional das fábricas de painéis de madeira reconstituída.

Perante a alta demanda de mercado e em função das demandas para atendimento da sustentabilidade, as indústrias moveleiras e áreas correlacionadas da construção civil, buscam em seus processos industriais elementos que tragam alternativas em relação à madeira sólida, considerando os aspectos de rendimento em relação ao volume, a diminuição da anisotropia e novas aplicabilidades da matéria-

prima.

Dentre os estudos relacionados a utilização de matéria-prima alternativa, a maravalha proveniente do processo de torneamento da madeira maciça na indústria moveleira, é um dos principais resíduos gerados no processamento mecânico da madeira, e, para utilização na produção de painéis convencionais, necessita de processos de redução e classificação de suas partículas (Silva, 2018).

Além dos resíduos moveleiros, existem outros materiais alternativos que podem ser incorporados e proporcionar melhorias nas propriedades dos painéis aglomerados, dentre eles o PET (polímero termoplástico) é um material resistente e mundialmente abundante devido às inúmeras aplicabilidades em embalagens, fibras têxteis, artigos decorativos, entre outros. Porém, devido ao crescente consumo mundial e ao descarte inapropriado desse material, 40% dos resíduos oriundo de garrafas PET não são reciclados e acabam em lixões, aterros sanitários ou no meio ambiente, levando até 400 anos para se decompor (Ocean Conservancy, 2020).

A partir deste cenário, a utilização de resíduo de PET na fabricação de painéis aglomerados tem sido objeto de estudos e pesquisas em diversas partes do mundo a fim de reduzir os impactos ambientais e proporcionar melhorias nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados, conforme pode ser evidenciado nos estudos de Prado *et al.* (2021), Moreira *et al.* (2020), Chen *et al.* (2020), Miao *et al.* (2020), entre outros.

Em relação aos adesivos comumente utilizados na fabricação dos painéis aglomerados no Brasil, o adesivo sintético à base de Ureia Formaldeído (UF) é uma resina que necessita de muito cuidado no manuseio, pois, apresenta vários aspectos negativos em suas propriedades, como a produção de gás formaldeído quando aquecido e a baixa resistência à umidade, devido sua toxidez é considerado prejudicial ao meio ambiente e ao ser humano (Gilio, 2020).

Visando a busca por materiais alternativos e sustentáveis, o adesivo Poliuretano obtido a partir do óleo de mamona (PUR) tem se constituído de uma alternativa em substituição à resina Ureia Formaldeído (UF) nos painéis aglomerados. Isso se deve ao fato de que, diferentemente dos adesivos à base de formol, os gases produzidos pelo poliuretano são menos prejudiciais à saúde humana.

Considerando-se os aspectos que envolve a produção de painéis aglomerados, essa pesquisa propõe analisar a viabilidade de sua produção a partir da utilização da maravalha de *Pinus sp* proveniente de processamento em indústrias moveleiras e

empresas madeireiras, que para a produção dos painéis foi aglutinados com PUR, PET e Resina de Pinus sp para a produção dos painéis aglomerados.

6 CONCLUSÃO

Com base na ABNT NBR 14810-2 (2018), ANSI A208.1 (2016) e considerando os resultados obtidos pelos ensaios realizados conclui-se que a substituição de partículas de Pinus por partículas de PET com adicional de PUR causou melhorias nas propriedades físicas e mecânicas analisadas, principalmente ao comparar com o painel de referência que continha apenas Pinus e PET em proporções iguais.

Considerando os resultados dos ensaios mencionados nas referências bibliográficas, tanto nacionais quanto internacionais, uma análise comparativa foi conduzida entre os painéis resultantes das misturas de 1 a 4 e aqueles provenientes da mistura 5. Dessa avaliação, surge uma conclusão significativa: o adesivo poliuretano (PUR) evidencia uma interação substancial com as partículas de Pinus e PET. Esse entendimento ressalta não apenas a eficácia do PUR na aglutinação das partículas, mas também infere sobre sua viabilidade como elemento aglutinante em composições que englobam tanto materiais tradicionais quanto reciclados.

De acordo com as exigências mínimas estabelecidas pela ABNT NBR 14810-2 (2018), constatou-se que os painéis provenientes das misturas 1 a 4 se enquadram nas classificações P2 e P3. Ainda com relação aos requisitos mínimos da norma brasileira, somente os painéis das misturas 3 e 4 se enquadram na classificação P4. Os painéis da mistura 5 não se enquadram em nenhuma classificação desta norma.

Com relação a norma ANSI A208.1 (2016), os painéis das misturas 1 a 4 se enquadram nas classificações H-1, H-2, M-0, M-1, M-S, M-2 e PUB; os painéis das misturas 1 a 3 se enquadram na classificação H-3; os painéis da mistura 3 se enquadram na classificação M-3i. Os painéis da mistura 5 não se enquadram em nenhuma classificação desta norma.

Com base na revisão bibliográfica, foi possível concluir que os painéis fabricados com 15% e 40% de PET, em combinação com 10% de adesivo PUR, apresentaram melhor adesão entre as partículas, isso pode ser verificado em função dos valores de resistência TP, A24H e I24H, consequentemente é possível inferir que ocorreu um bom “envelopamento” das partículas e um maior preenchimento de vazios no interior dos painéis em comparação com os painéis das misturas de referência (50% PET e 0% e 5% de PUR). No entanto, considerando tanto o desempenho das propriedades quanto a viabilidade econômica, os painéis mais vantajosos são aqueles das misturas 3 e 4.

Com a análise estatística é possível concluir que os resultados são significativos e que a metodologia adotada é compatível e coerente com as exigências das normas utilizadas.

Com as análises realizadas da MEV é possível concluir que tanto o PUR como a PET foram eficientes na produção dos painéis, contribuindo com o “envelopamento” das partículas de madeira e certamente contribuíram para o comportamento físico e mecânicos dos painéis.

Vale ressaltar que para continuidade da pesquisa seria interessante avaliar as misturas que propiciaram a produção de bons painéis, considerando-se a utilização de novos parâmetros para produção dois painéis, como por exemplo, variações de temperatura e pressão de prensagem.

Os resultados deste estudo destacam que a incorporação de resíduos da indústria moveleira com PET reciclado, aglutinados com adesivo PUR, na fabricação de painéis de partículas aglomeradas, resultou em propriedades físicas e mecânicas satisfatórias, atendendo aos requisitos de desempenho estabelecidos pelas normativas de referência. Esses painéis demonstram potencial para oferecer benefícios ambientais e econômicos significativos, ao mesmo tempo em que atendem às demandas da indústria e do mercado comercial.

REFERÊNCIAS

ABDUL KHALIL, H. P. S. *et al.* Development and material properties of new hybrid medium density fibreboard from empty fruit bunch and rubberwood. **Materials & Design**, Amsterdam, v. 31, n. 9, p. 4229-4236, 2010.

ABREU, A. S *et al.* Production of Wood-plastic Composites Using Recycled PET from Beverage Packaging. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 38-44, 2018.

ALLAF, R. M. **Preparation of sawdust-filled recycled-pet composites via solid state compounding**. [S. l.]: MDPI, 2020. DOI 10.3390/pr8010100. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/8/1/100>. Acesso em: 14 mar. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D 3878 – 19**, 2019. Standard Terminology for Composite Materials. United States, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D 1554 – 10**, 2016. Standard Terminology Relating to Wood-Base Fiber and Particle Panel Materials. United States, 2016.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE – ANSI. **A208.1**: Particleboards. Gaithersburg, MD, 2016.

ARABI, M. *et al.* Interaction analysis between slenderness ratio and resin content on mechanical properties of particleboard. **Journal of Forestry Research**, Harbin, v. 22, p. 461–464, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11676-011-0188-2>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ARAÚJO, C. K. C. *et al.* Caracterização mecânica de painéis particulados de média densidade produzidos a partir de resíduos de madeira. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 15, n. 1, p. 197-211, 2019.

ARAUJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanos elastoméricos baseados em materiais óleo químicos**. Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação do Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos - SP, 1992.

ARIANTI, I.; RAFANI, M. The Effect of Adding Plastic Bottle PET Waste in the Making of Sawdust Particleboard. **International Journal of Research Publication and Reviews**, [s. l.], v. 2, ed. 11, p. 737744, 2021. Disponível em: <http://repository.polnep.ac.id/xmlui/bitstream/handle/123456789/1979/The%20Effect%20of%20Adding%20Plastic%20Bottle%20PET%20Waste.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÓVEIS – ABIMOVEL. **Principais consumidores de madeira no Brasil**. Disponível em: <http://abimovel.com/>. Acesso em: 25 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECÂNICA – ABIMCI. **Consumo de madeira sólida**. Disponível em: <https://abimci.com.br/>. Acesso em: 10 dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Produção de painéis aglomerados no Brasil**. Disponível em: <https://www.abipa.com.br/>. Acesso em: 21 dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-1**: Painéis de partículas de média densidade: parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 9939**: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO - ABIPLAST. Dados do Setor. **Produção de plástico no mundo**. 2021. Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/dados-do-setor/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **Resina PET – História**. [S. l.], 2018. Disponível em: www.abipet.org.br. Acesso em: 3 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **11º Censo da Reciclagem do PET no Brasil**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.abipet.org.br/>. Acesso em: 6 mar. 2023.

ASHBY, M.; JOHNSON, K. **Materiais e design**: A arte e a ciência da seleção de materiais no design de produtos. 3. ed. [S. l.]: Editora Butterworth-Heinemann, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico**, 2021: ano base 2020. Brasília, DF: ABRAF, 2021. 128 p. Disponível em: <https://abraf.org/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

ATLAS DO PLÁSTICO: **Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. Rio de Janeiro: Fundação Heirich Böll, 2020. Disponível em: <https://br.boell.org/sites/default/files/202011/Atlas%20do%20PI%C3%A1stico%20%20vers%C3%A3o%20digital%20%2030%20de%20novembro%20de%202020.pdf>. Acesso em: 14 set. 2021.

AWAJA, F.; PAVEL, D. Recycling of PET. **European Polymer Journal**, [s. l.], v. 41, n. 7, p.1453-1477, jul. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005>. Acesso em: 21 dez. 2022.

AZEVEDO, E. C. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2009. 134 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, [s. l.], 2009.

BAHAROGLU, M. *et al.* The influence of moisture content of raw material on the physical and mechanical properties, surface roughness, wettability, and formaldehyde emission of particleboard composite. **Composites: Part B**. Reino Unido, 43, p. 2448-2451, 2012.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES. **Painéis de madeira reconstituída**. 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/>. Acesso em: 17 nov. 2022.

BASBOGA, I. H.; TASDEMIR, C.; YUCE, O.; MENGELOGLU, F. Utilization of different size waste melamine impregnated paper as an adhesive in the manufacturing of particleboard. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 120, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2022.103275>. Acesso em: 21 dez. 2022.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus oocarpa tratado com preservantes CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretano à base de mamona**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BRITO, J. O.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; MULINARI, D. R. Characterization of particleboards manufactured from coir pith and castor oil-based adhesive. **Materials Research**, São Carlos, v. 22 (3), 2019.

BRYDSON, J. A. **Materiais plásticos**. 7. ed. [S. l.]: Editora Butterworth-Heinemann, 1999.

BUZO, A. L. S. C. *et al.* Painéis de Pinus e bagaço de cana empregando-se dois adesivos para uso na construção civil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, e d. 4, p. 183-193, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000400350>. Acesso em: 21 dez. 2022.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Production and characterization of MDF using eucalyptus fiber and castor-oil based polyurethane resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 7, n. 3, p. 421-425, 2004.

CARNEIRO, M. S., **Processo produtivo de resíduos em cinco madeiras no município de Paragominas-PA**. 2006. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Tecnologia Agroindustrial) - Universidade do Estado do Pará, Tecnologia Agroindustrial, Paragominas, 2006.

CASSILHA, A. C. *et al.* Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia**, Curitiba, n. 8, p. 209-228, 2004.

CALLISTER JUNIOR, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CAZELLA, P. H. S. **Avaliação de painéis aglomerados homogêneos de pinus com incorporação de partículas de PET aglutinados com adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2022. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

CARNEIRO, A. C. O. Propriedades físico-mecânicas da madeira de pinus oocarpa. **Madeas, ciência e tecnologia**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 459-472, 2017.

CARRADORI, E. G.; DOS SANTOS, C. A.; ROCCO LAHR, F. A. Process and quality control in the production of wood-based panels in Brazil. **Brazilian Journal of Wood Science**, [s. l.], v. 3, p. 60-71, 2012.

CERQUEIRA, P. H. A. de *et al.* Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 506-510, 2012. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.4322/loram.2012.051. Acesso em: 7 jan. 2023

CELESTINO, V. R. B. **Estudo do comportamento físico e mecânico de painéis aglomerados fabricados com partículas de Tectona grandis e Corymbia citriodora**. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2020.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2004.

CHEN, G.; DING, T.; WU, Z. Preparação e propriedades de placas compostas de polietileno de alta densidade (HDPE)/PET, **Materiais**, [s. l.], v. 13, p. 982-998, 2020.

CHIPANSKI, E. R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 193 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CHOTIKHUN, A. *et al.* **Some Properties of Wood Plastic Composites Made from Rubberwood, Recycled Plastic and Silica**. MDPI - FORESTS, [s. l.], 2022. DOI <https://doi.org/10.3390/f13030427>. Acesso em: 21 dez. 2022.

CHRISTOFORO, A. L. *et al.* Produção de chapas de partículas com resíduos de madeira *Cordia goeldiana*. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, p. 368- 377, 2015.

CRAVO, J. C. M. *et al.* Effect of density and resin on the mechanical, physical and thermal performance of particleboards based on cement packaging. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 151, p. 414-421, 2017.

DHARMARATNE, P.D. *et al.* Preliminary Investigation of the Suitability of Coir Fiber and Thermoplastic Waste as a Construction Material. **ENGINEER**, [s. l.], ed. 04, p. 65-74, 2021. DOI <http://doi.org/10.4038/engineer.v54i4.7471>. Acesso em: 21 dez. 2022.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretano à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Curso de Engenharia de Matérias, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DOTUN, A. O.; ADESOJI, A. A.; OLUWATIMILEHIN, A. C. Physical and Mechanical Properties Evaluation of Particle Board Produced From Saw Dust and Plastic Waste. **International Journal of Engineering Research in Africa**, [s. l.], v. 40, p. 1-8, 2018. DOI 10.4028/www.scientific.net/JERA.40.1. Acesso em: 21 dez. 2022.

EBEWELE, R. O. **Polymer science and technology**. Boca Raton, New York: CRC Press, 2000. p. 504.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Embrapa Florestas. **Sistema de Produção**, v. 2, n. 5, 2014. Disponível em: https://www.spo.nptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3229. Acesso em: 23 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Embrapa Florestas. **Consumo e plantio de florestas**, v. 2, n. 5, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 23 jan. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Produção e consumo de espécies de madeira pinus no Brasil**, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>. Acesso em: 7 jan. 2023.

FARIA, D. L. *et al.* Emprego de maravalhas de Eucalyptus na produção de painéis: uma alternativa para aproveitamento dos resíduos oriundos da usinagem da madeira. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 7, n. 3, p. 1101-1109, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i3.9895>. Acesso em: 21 dez. 2022.

FEITOSA, B. C. **Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará 2008**. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/32733/JOSE%20LAZARO%20PINHEIRO%20DA%20SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 fev. 2023.

FERREIRA, E.S.; KNUTH. A. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Tectonagrandis* produzidos com adição de diferentes teores de PET. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA – CBCTEM*, 4., 2019, Santarém. **Anais** [...]. Santarém: CBCTEM, 2019.

FIGUEIREDO, M. A. F. Caracterização tecnológica de *Pinus oocarpa* cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 108, p. 221-231, 2015.

FIORELLI, J. *et al.* Painéis de partículas monocamadas fabricadas com resíduo de madeira e fibra de verde. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 43, p. 175-182, 2015.

FINOTTI, A. R., *et al.* Uso energético de resíduos de madeira na cadeia produtiva de madeira/móveis e possibilidades de geração de créditos de carbono. *In: Schneider, V. E., Nehme, M. C., Ben. F. (org.). Polo Moveleiro da Serra Gaúcha - Sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira*. Educs, 2006. p. 191-230.

FIORELLI, J. *et al.* Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas com casca de amendoim e resina poliuretano de mamona. *In: LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L. Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos*. São Carlos: [s. n.], 2013. p. 293-308. ISBN 978-85-8023-019-2.

FONTES, P. J. P. **Autossuficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – WWF. **Plastic and Waste Production Around the World**. 2021. Disponível: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em: 19 fev. 2023.

FONSECA, T. G; ALMEIDA, Y. M. B; VINHAS, G. M. Reciclagem química do PET pós-consumo: caracterização estrutural do ácido tereftálico e efeito da hidrólise alcalina em baixa temperatura. **Polímeros**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 5, p. 567- 571, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0104-1428.1583>. Acesso em: 21 dez. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO; FORESTRY DEPARTMENT. **Global forest products: facts and figures**. Rome: FAO, 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/I7034EN/>. Acesso em: 21 dez. 2022.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463p (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113).

FRIEDRICH, D. Additive Manufacturing of Post-process Thermoformed Wood-plastic Composite Cladding. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 139, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104322>. Acesso em: 21 dez. 2022.

GACHTER, R.; MULLER, G. **Plásticos: materiais de termo formação, processamento e caracterização**. 2ª ed, 2013.

GALVÃO, A. P. M. Propriedade física e químicas da madeira *Pinus oocarpa* de uma plantação florestal no Brasil. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 2, p. 56, 2016.

GILIO, C. G. **Avaliação de painéis de maravalhas homogêneas empregando-se madeira de hevea brasiliensis e tectona grandis, aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. 2020. 139 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2020.

GONÇALVES, F. G. *et al.* Densitometria de raios x na avaliação da densidade em painéis de partículas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p.1151- 1162, 2018.

GOMES J. I; SAMPAIO S. S. **Aproveitamento de resíduos de Madeira em Três Empresas Madeireiras do Estado do Pará**. Belém: Embrapa, 2004. (Comunicado técnico, n. 102).

GONG, M.; LAM, F.; CHENG, W.; WONG, E. The effects of particle mixture content and resin on the physical and mechanical properties of particleboard. **Journal of Wood Science**, v. 61, p. 32-38, 2015.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GUPTA, A. K., VERMA, S. K., & KUMAR, R. **Wood-Based Composites**. In M. C. Barbu, R. Reh, & M. Irle (Eds.), **Wood-Based Composites** (pp. 1-43). 2015. IGI Global. Disponível em: www.igi-global.com/chapter/wood-basedcomposites/84188?camid=4v1.

HERNÁNDEZ, R. E *et al.* Manufacture of Agglomerated Panels Using PET Waste as a Raw Material. **Materials Research**, [s. l.], 2020, v. 23, p. 200-219.

HILLIG, E. **Qualidade das Chapas Aglomeradas Estruturais Fabricadas com Madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia Negra, puras ou misturadas coladas com Tanino-Formaldeído**. 2000. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2000.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório Anual**. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Programa setorial da qualidade de painéis de madeira MDF e MDP**. 14. ed. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em:

<https://iba.org/datafiles/publicacoes/outros/informativoxiv.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Painéis de madeira**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <https://iba.org/mdp-medium-density-particleboard-paineis-departiculas-de-media-densidade>. Acesso em: 15 jan. 2023. 104

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa Industrial Anual – Produção Física: Unidades Locais 2018-2020**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PRODUTIVIDADE - IBQP. Disponível em: www.ibpq.org.br. Acesso em: 27 fev. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Informações sobre madeiras**. Disponível em: https://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeir7. Acesso em: 10 fev. 2023.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. 2. ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2020. 259 p.

IWAKIRI, S. *et al.* Use of residues of forestry exploration of Pinus taeda for particleboard manufacture. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, p. 1-8, 2017.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.

IWAKIRI, S. *et al.* Resíduos de serrarias na produção de painéis da madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agrária**, [s. l.], v.1, n.1-2, p. 23-28, 2000. Editora UFPR.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2000.

JUNXIONG, H.; ZHINAN, W.; LIPING, L.; CHUIGEN, G. Value-added Utilization of Corn cob Hydrolysis Residues: Preparation of Reinforced Wood-plastic Composite With Highly Water Resistance and Decay Resistance. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 195, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116497> Acesso em: 21 dez. 2022.

KLÍMEK, P. *et al.* Utilization of Air-plasma Treated Waste Polyethylene Terephthalate Particles as a Raw Material for Particleboard Production. **Composites Part B: Engineering**, [s. l.], v. 90, p. 188-194, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.12.019>. Acesso em: 21 dez. 2022.

KOLLMANN, F.P.; KUENZI, E.W. STAMM. J. Principles of wood science and technology. **Wood based materials: properties of particleboard. nail-holding and screw holding ability**. New York, 1975. p. 523-529.

LIU, J.; MA, X.; ZHANG, Y. Preparation and characterization of a formaldehyde-free soy-based adhesive for plywood. **Polymers**, v. 11, p. 975-980, 2019.

LOPEZ, Y. M. *et al.* Production of wood-plastic composites using cedrela odorata sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products: a sustainable approach for cleaner production in Cuba. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 244, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118723>. Acesso em: 21 dez. 2022.

LOPEZ, Y. M. *et al.* Production of wood-plastic composites using cedrela odorata sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products – A sustainable approach for cleaner production in Cuba. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.244, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118723>. Acesso em: 21 dez. 2022.

LOPEZ, Y. M. *et al.* Wood particleboards reinforced with thermoplastics to improve thickness swelling and mechanical properties. **Cerne**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 369-378, 2018. DOI: 10.1590/01047760201824042582. Acesso em: 21 dez. 2022.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacture**. San Francisco: M. Freeman, 1993. v. 2. 689 p.

MALONEY, T.M. Terminology and products definitions - a suggested approach to uniformity world wide. *In*: INTERNATIONAL UNION OF FORESTER SEARCH ORGANIZATION WORLD CONGRESS, 18., 1986, Ljubljana: Yugoslavia. **Proceedings** [...]. [S. l.]: IUFRO World Congress Organizing Committee, 1986.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard & dryprocess fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publications, 1977. 672 p.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 2 ed. [S. l.]: Editora Edgard Blucher, 2000.

MARINHO, N. P. *et al.* Caracterização Física e Térmica de Compósito de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Associado com Partículas de Bambu. **Polímeros**, Rio de Janeiro, v. 23, n 2, pp. 201205, 2013.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: V. Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MARTON, A. **Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial**. 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2014.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, 2008.

MIAO, P.; LIU, M.; WANG, C.; CHENG, J. Influence of PET bottle flakes on the properties of wood-plastic composites. **Journal of Materials Science Research**, [s. l.], v. 9, p. 10-19, 2020.

MINILLO, L. Q. **Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucroalcooleira para produção de painéis aglomerados**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP, 2016.

MIYAMOTO, K.; NAKAHARA, S.; SUZUKI, S. Effect of particle shape on linear expansion of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, p. 185–190, 2002.

MOREIRA, R.C. *et al.* Incorporação de garrafas PET como matéria-prima na produção de painéis de partículas: um estudo sobre propriedades físicas e mecânicas. **Pesquisa de Materiais**, v. 23, p. 14-20, 2020

MORCHID, E. F. *et al.* Thermal and Mechanical Properties of a High-density Polyethylene (HDPE) Composite Reinforced With Wood Flour. **Materials today: Proceedings**, v. 2, p. 3602-3608, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.08.394>. Acesso em: 21 dez. 2022.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: vol I: materials. London: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p.

NASCIMENTO, M. F. *et al.* Painéis de partículas homogêneas fabricados com resíduos lignocelulósicos e resina alternativa para aplicação em pisos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, p. 1-6, 2016.

NASCIMENTO, M. F. do; LAHR, F. A. R; CHRISTOFORO, A. L. **Painéis de partículas de média densidade (MDP): fabricação e caracterização**. São Carlos: EESC, 2015. p. 1-45.

NOGUEIRA, L. C.; SERRANO, L.; MENDES, L. M. Efeito da espécie e densidade da madeira nas propriedades mecânicas e físicas de painéis de fibra de madeira de média densidade (MDF). *Maderas*. **Ciencia y tecnologia**, [s. l.], v. 23, p. 43-54, 2021.

OCEAN CONSERVANCY. **Environmental and oceanic impact of Polymer worldwide**. 2022. Disponível em: <https://oceanconservancy.org/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

OLIVEIRA, S. L.; PEREIRA, T. V. T.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F. Laminar Inclusion in Sugarcane Bagasse Particleboard. **Cerne**, Lavras, v. 23, n. 2, p. 153-160, 2017.

PAES, J. B. *et al.* Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretano sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PEDZIK, M.; JANISZEWSKA, D.; ROGOZINSKI, T. Alternative lignocellulosic raw materials in particleboard production: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 174, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114162>. Acesso em: 21 dez. 2022.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker. 1994, 297 p.

PRADO, R.A.; OLIVEIRA, A.C.; CUNHA, A.B.; LAHR, F.A.R. Propriedades mecânicas de painéis de partículas fabricadas a partir de garrafas recicladas de tereftalato de polietileno (PET) e partículas de madeira. **Forest Products Journal**, Peachtree Corners, v. 71, p. 55-60, 2021

QIANG, T; *et al.* Life Cycle Assessment on Polylactide-based Wood Plastic Composites Toughened With Polyhydroxyalkanoates. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 66, p. 139-145, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.074>. Acesso em: 21 dez. 2022.

RAHMAN, K. S. *et al.* Flat-pressed wood plastic composites from sawdust and recycled polyethylene terephthalate (PET): physical and mechanical properties. **Springer Open**, [s. l.], n. 2, p. 629, 2013. DOI: 10.1186/2193-1801-2-629. Acesso em: 21 dez. 2022.

RAHMAN, K. S. *et al.* Properties of flat-pressed wood plastic composites as a function of particle size and mixing ratio. **Journal of Wood Science**, [s. l.], p. 279-286, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-018-1702-3>. Acesso em: 21 dez. 2022.

REVISTA DA MADEIRA - REMADE. **Mercado de produtos madeireiros certificados na indústria de painéis**. 140. ed. [S. l.], 2014. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1779&subject=R_M_Digital&title=Revista%20da%20Madeira%20Digital. Acesso em: 7 jan. 2023.

ROCHA, B. B. **Aproveitamento de resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar na produção e avaliação de painéis aglomerados**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.

RODRIGUES, F. R. **Estudo da viabilidade do uso de resíduo de poliestireno e poliuretano de óleo de mamona na produção de painéis aglomerados homogêneos de pinus e eucalipto**. 2022. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

RODRIGUES, P. F.; RIBEIRO, T. P.; NEVES JUNIOR, A. Caracterização Mecânica de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibras de Politereftalato de Etileno Espiraladas. **E&S – Engineering and Science**, Cuiaba, v. 6, 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.18607/ES20176068>. Acesso em: 7 jan. 2023

SAM-BREW, S.; SMITH, G. D. Flax shive and hemp hurd residues as alternative raw material for particleboard production. **Bioresources**, Raleigh, v. 12, n. 3, p. 5715-5735, 2017.

SANTOS, R. C. *et al.* Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* Macleish) na produção de painéis aglomerados com adição do PET. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, 2011.

SILVA, V. U. da. **Viabilidade técnica do reaproveitamento da maravalha de forma integral na produção de painéis de partículas**. 2018. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVA, S. A. M. *et al.* Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de madeira tropical e poliuretano derivado de óleo de mamona. In: LAHR, Francisco Antonio Rocco; CHRISTOFORO, André Luís (Orgs.). **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos: Ed. EESC/USP, 2013. p. 95-114.

SILVA, V. U. *et al.* Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 285, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122906>. Acesso em: 7 jan. 2023

SILVA, F. A *et al.* Utilização de garrafas PET como matéria-prima na produção de painéis aglomerados. **Maderas: Ciencia y Tecnología**. 2021, v. 23, p. 607-618.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. **Cadeia Produtiva**. Brasília, DF: SNIF, 2020. Disponível em: <http://snif.florestal.gov.br/pt-br/cadeia-produtiva>. Acesso em: 21 dez. 2022.

SOUZA, M. V. **Avaliação e viabilidade técnica para aproveitamento de resíduo de serraria de quatro espécies de madeira para produção de painéis aglomerados homogêneos e heterogêneos**. 2022. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2022.

STARK, N.M.; CAI, Z. Wood-based composite materials: panel products, glued laminated timber, structural composite lumber, and wood-non wood composites. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2021. 543 p. (General Technical Report FPL-GTR-282).

SUGAHARA, E. S. **Painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto e bagaço de cana, com adesivos ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona**. 2018. 108 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, 2018.

SUGAHARA, E. S. *et al.* High-density Particleboard Made from Agro-industrial Waste and Different Adhesives. **Bioresources**, [s. l.], p. 5162-5170, 2019. DOI: 10.15376/biores.14.3.5162-5170. Acesso em: 7 jan. 2023

TCHARKHTCHI, A. Life Cycle Assessment of Polymers: A Review. **Polymer Degradation and Stability**, [s. l.], v. 162, p. 168-188, 2019.

TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação das propriedades de painéis compensados de Melia azedarach L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 759-768, 2015.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2010.

TREVISAN, C. G. **Painéis aglomerados homogêneos produzidos com partículas de pinus e seringueira e aglutinados com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona – avaliação das propriedades físicas e mecânicas.** 2021. 18-84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, SP.

ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados.** 2013. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.