

Painéis aglomerados com resíduo de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com adesivo bicomponente sustentável

Particleboard with residue of Pinus caribaea var. caribaea with sustainable bi-component adhesive

Matheus Viana de Souza 
Sérgio Augusto Mello da Silva 
Pedro Henrique da Silva Cazella 
Felipe Reis Rodrigues 
Tainah Eduarda Boian Carneiro 
Edna Moura Pinto 
Aline Redondo Martins 
Márcia Regina de Moura Aouada 
André Luis Christoforo 

¹Matheus Viana de Souza
¹Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

²Sérgio Augusto Mello da Silva
²Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

³Pedro Henrique da Silva Cazella
³Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

⁴Felipe Reis Rodrigues
⁴Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

⁵Tainah Eduarda Boian Carneiro
⁵Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

⁶Edna Moura Pinto
⁶Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal - RN - Brasil

⁷Aline Redondo Martins
⁷Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

⁸Márcia Regina de Moura Aouada
⁸Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Ilha Solteira - SP - Brasil

⁹André Luis Christoforo
⁹Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 25/06/22
Aceito em 27/01/23

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo produzir e avaliar painéis aglomerados com resíduo de pinus mediante uma metodologia de produção aplicada para painéis homogêneos e outra para heterogêneos. Os painéis homogêneos e heterogêneos foram produzidos com densidade inicial de 0,550 g/cm³ e com 10% e 12% de resina de poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR) respectivamente. Os parâmetros de prensagem foram de 5 MPa, com temperatura de 100 °C e 10 min de prensagem, com um intervalo de 30 s. Os ensaios realizados seguiram a normativa NBR 14810-2 (ABNT, 2018). Observou-se que a reorganização das partículas dos painéis heterogêneos somada ao aumento do adesivo foram fatores que melhoraram as propriedades finais desses painéis, classificados para ser utilizados como objetos de decoração e na indústria moveleira, enquanto os painéis homogêneos não obtiveram classificação.

Palavras-chave: Painéis aglomerados. Resíduo madeireiro. Poliuretano derivado do óleo de mamona.

Abstract

This research aimed to produce and evaluate particleboard with pinus waste using two production methodologies. One applied to homogeneous panels (single layer) and another to heterogeneous panels (three layers). The panels were produced with an initial density of 0.550 g/cm³, with 10% polyurethane resin derived from castor oil (PUR) for the homogeneous panels and 12% for the heterogeneous ones. The pressing parameters were 5 MPa, with a temperature of 100 °C and 10 min of pressing, with an interval of 30 s. The tests performed according to NBR 14810-2 (ABNT, 2018) standard. As a result, it was observed that the reorganization of the particles of the heterogeneous panels added to the increase of the adhesive were factors that improved the final properties of the panels, which are classified to be used as decoration objects and in the furniture industry, not obtaining classification of homogeneous panels.

Keywords: Particleboards. Wood waste. Polyurethane derived from castor oil.

Introdução

As plantas desempenham um papel significativo nos ecossistemas da Terra. Direta ou indiretamente, todos os seres vivos dependem delas para sobreviver (RAVEN; WACKERNAGE, 2020). À vista disso, a influência do ser humano na biodiversidade está causando uma rápida deterioração dos recursos, de tal forma que, desde o início da agricultura, a biomassa vegetal já foi reduzida pela metade, tendo sido mais de 70% da superfície terrestre alterada pela ação humana (BRANDSHAW *et al.*, 2021).

Apesar de o Brasil ainda possuir uma grande reserva ecológica, faz-se necessário que se pense na preservação do meio ambiente. O aproveitamento dos resíduos gerados nos processos de produção de materiais e na otimização de novos produtos, não apenas na construção civil, mas também em outros segmentos industriais, é um dos caminhos para se alcançar tal fim.

Nesse contexto, as complicações com a escassez de recursos, resultantes do desmatamento de florestas nativas, promovem pesquisas e soluções que, em âmbito mundial, visam fomentar metas para a utilização de resíduos industriais e agrícolas (VISNARDI, 2010). Como forma de aproveitar os materiais provenientes da produção florestal, o uso dos painéis aglomerados, de certa forma, é essencial, pois concede um destino mais nobre às madeiras de dimensões ou qualidades inferiores (GUIMARÃES JÚNIOR, 2008).

Referencial teórico

Várias são as motivações associadas ao surgimento dos painéis aglomerados. Iwakiri (2005) relata que um dos motivos foi a necessidade de se utilizarem resíduos provenientes da produção dos painéis compensados. Nascimento, Lahr e Christoforo (2015) descrevem que os painéis aglomerados surgiram como uma proposta alternativa de uso devido à escassez de madeira na Segunda Guerra Mundial, em 1941. Segundo a Food and Agriculture Organization – FAO (2020), os painéis produzidos com partículas de madeira são utilizados com materiais lenhosos e não lenhosos, por possuírem densidades iguais ou maiores que a espécie de origem. Além da madeira, para painéis não estruturais também se utiliza a casca das madeiras, com o objetivo de minimizar os resíduos gerados.

Segundo Iwakiri (2005), os painéis são diferenciados de acordo com a distribuição das partículas. Os painéis homogêneos se caracterizam por suas partículas estarem distribuídas aleatoriamente por todo o painel. Os painéis de múltiplas camadas, também chamados de heterogêneos (GAVA *et al.*, 2015), se caracterizam por apresentar diferenciação granulométrica entre suas camadas. Os painéis de camadas graduadas, por sua vez, possuem uma graduação na qual não é possível distinguir a divisão entre as camadas.

Os painéis podem ser produzidos com misturas de diferentes espécies de madeira, com adição de polímeros (NAKANISHI *et al.*, 2018; GURU; ATAR; YILDIRIM, 2008; PAN; CATHCART; WANG, 2006), resíduos agroindustriais e componentes lignocelulósicos (SUTIAWAN *et al.*, 2022; BISPO *et al.*, 2022; SOUZA *et al.*, 2021; WONG *et al.*, 2020; BRITO *et al.*, 2020; NEGRÃO; PINTO; SILVA, 2018; SUGAHARA *et al.*, 2019; BUZO *et al.*, 2019) ou resíduos madeireiros (SILVA *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021; FARIA *et al.*, 2020; GAVA *et al.*, 2015). Substituições e adições de produtos ao processo de produção objetivam melhorar as propriedades dos painéis, como também substituir o uso da madeira, procurando meios de produzir materiais ambientalmente amigáveis e reduzir o desperdício (GONÇALVES *et al.*, 2018).

Qualquer empresa que trabalhe com madeira gera resíduo, consequência dos processamentos primário e secundário da madeira (CERQUEIRA *et al.*, 2012). De acordo com Finotti *et al.* (2006), as perdas no desdobro e nos cortes de reserra da madeira variam entre 20% e 40% do volume total das toras utilizadas no processamento. Os resíduos de madeira são utilizados na geração de energia elétrica, de biomassa para produção de MDF e aglomerado, como também na forração de granjas, currais e baias (CASSILHA *et al.*, 2004).

Uma alternativa para utilização do resíduo madeireiro é a aplicação em brinquedos e a compostagem, sendo primeiro necessário que se escolham as espécies adequadas para que os extrativos presentes na madeira não prejudiquem a saúde dos usuários (GOMES; SAMPAIO, 2004). Nesse sentido, o gênero *Pinus*, que, segundo Silva *et al.* (2012), é uma das espécies mais plantadas no mundo, utilizada para a produção de celulose, papel e madeira serrada, tem em seus resíduos um grande potencial de aproveitamento.

De acordo com a Embrapa (EMPRESA..., 2014, não paginado), “A variedade *caribaea* é nativa do oeste de Cuba, em Pinar del Rio e Isla de La Juventud, em altitudes de até 280 m, com inverno seco, temperatura média anual variando de 5 °C a 25 °C, [...] e solos ácidos (pH 4,5 a 6,0)”.

O *Pinus caribaea* ramifica-se em três variedades (*bahamensis*, *caribaea* e *hondurensis*), sendo constituído de grande quantidade de resina, ideal para o processamento mecânico. A *hondurensis* é a variação mais plantada na região tropical no Brasil (EMPRESA..., 2014). As espécies que melhor se adaptaram no solo paulista, no cerrado, com primaveras e invernos secos e solos pobres, foram *Pinus caribaea* var. *caribaea*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, *Pinus kesiya* e *Pinus oocarpa* (SILVA *et al.*, 2012). Entre as espécies de *Pinus* tropical, a única que cresce em regiões de baixa altitude é o *Pinus caribaea* var. *caribaea* (FRANCIS, 1992).

A madeira da espécie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* tem uma estrutura denominada “grosseira”, com fibras verticais, coloração marrom amarelada ou marrom avermelhada, lenho outonal e anéis de crescimento largos; o cerne da árvore não se forma até a idade de 15 anos (WANG; MALCOLM; FLECTHER, 1999), conforme pode ser observado na Figura 1, abaixo, onde 1a é a seção transversal da tora utilizada e 1b a tora que foi processada para a produção das maravalhas.

Poucos produtos são encontrados utilizando essa variedade de *Pinus* em específico, mas estudos realizados por Iwakiri *et al.* (2010) determinaram a densidade da madeira *Pinus caribaea* var. *caribaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis* em torno de 0,398 g/cm³ e 0,429 g/cm³ respectivamente, ambas as espécies coletadas com 17 anos. Outro estudo, realizado por Wang, Malcolm e Fletcher (1999), constatou que a densidade básica do *Pinus caribaea* var. *caribaea* constava em torno de 0,470 g/cm³ e 0,580 g/cm³ com espécies nas idades de 10 e 15 anos respectivamente. A norma NBR 7190 (ABNT, 1997), “Projeto de estruturas de madeira”, cita a densidade dessa variedade em torno de 0,579 g/cm³.

Silva Júnior (1993) analisou a densidade básica da espécie *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de três formas diferentes. A primeira densidade foi calculada como resíduo de serraria, a segunda densidade foi retirada do miolo da madeira maciça, e a terceira, do topo, com densidades de 0,624 g/cm³, 0,449 g/cm³ e 0,505 g/cm³ respectivamente, com a idade das espécies variando entre 8 e 23 anos.

Para a produção de painéis do gênero *Pinus*, Silva *et al.* (2021) estudaram a utilização da maravalha de *Pinus elliot* e de *Pinus taeda* na forma integral, confeccionando painéis de média e alta densidade e utilizando três tipos de resinas diferentes: quatro misturas com dois tipos de poliuretanas e duas misturas com ureia formaldeído, utilizando como parâmetros de produção umidade em torno de 12% e 15% de adesivo em relação à massa seca, pressão de 3,5 MPa por 10 min e aglutinados com poliuretano derivado do óleo de mamona (PUR) à temperatura de prensagem de 100 °C e 120 °C para ureia formaldeído (UF).

Cabral *et al.* (2017) realizaram estudo utilizando maravalha de *Pinus* ssp. e fibra de sisal, confeccionando painéis de baixa densidade, nas proporções de 25%, 50% e 75% na relação *Pinus*/sisal. Foram utilizados 12% do adesivo de PUR em relação à massa seca, com painéis prensados à temperatura de 100 °C, com pressão de 5 MPa por 10 min.

Outra pesquisa utilizando madeira *Pinus* em forma de resíduo foi realizada por Iwakiri *et al.* (2017), que produziram painéis com resíduo de exploração florestal da espécie *Pinus taeda*. O material foi coletado na forma de galhos e ponteiros, tocos e raízes, sendo misturados em uma proporção de 75/25%, 50/50% e 25/75% para cada tipo de material com partículas de *Pinus* industrial, além de uma mistura em três partes iguais de cada material. Os autores adotaram densidade nominal de 0,750 g/cm³, com 8% de adesivo com base no peso seco, sendo prensados com temperatura de 160 °C, com 4 MPa, durante 8 min.

Figura 1 - Madeira da espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*



Por fim, Iwakiri *et al.* (2010) produziram e avaliaram painéis aglomerados com partículas de *Pinus carbaea* var. *carbaea* e *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, nas proporções de 100/0%, 25/75%, 50/50%, 75/25% e 0/100%. Nesse estudo, foram utilizados 8% de adesivo UF em relação ao peso seco do material, sendo os painéis prensados a 160 °C de temperatura por 8 min, com pressão de prensagem de 4,0 MPa.

De acordo com Iwakiri (2005), o adesivo é o componente que participa com o maior custo no processo de produção dos painéis. Devido a isso, é considerável que sejam encontradas alternativas para minimizar o custo final. É importante ressaltar que os parâmetros de dosagem do adesivo em um painel variam com o peso seco das partículas de madeira e com o conteúdo sólido resinoso, de 5% a 10%. Na atualidade, a UF é o adesivo mais utilizado, por ser econômico, com cura rápida, de fácil manuseio e não confere no final da prensagem cores indesejáveis aos painéis. Recomendada para uso interno (sem contato com a umidade), a UF é caracterizada por possuir coloração clara, material não inflamável e com boas propriedades de colagem, podendo ser curada tanto a quente quanto a frio mediante um catalisador ácido (IWAKIRI; TRIANOSKI, 2020; NASCIMENTO; LAHR; CHRISTOFORO, 2015; FOREST..., 1999).

Mesmo que os adesivos à base de formaldeído possuam custo menor no mercado, surgiu a necessidade de se criarem alternativas de adesivos que fossem biodegradáveis, renováveis e não prejudiciais ao meio ambiente (FIORELLI *et al.*, 2012). O adesivo PUR foi desenvolvido no Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo (Brasil), e vem sendo estudado como uma proposta de utilização de produtos biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa (ARAÚJO, 1992). Segundo Wechsler *et al.* (2013), para sofrer a polimerização a frio, o óleo de rícino (poliol) precisa reagir com um isocianato aromático, diisocianato de difenil metileno (MDI), produzindo, assim, um adesivo poliuretano termoendurecível. Mesmo que o MDI seja um produto derivado do petróleo, 50% a 75% da resina é proveniente do óleo de mamona, sendo assim material classificado como de origem vegetal.

Um estudo realizado por Buzo *et al.* (2019) comparou a utilização do PUR com a UF para a produção de painéis aglomerados com *Pinus* e bagaço de cana de açúcar. O estudo concluiu que o adesivo poliuretano propiciou melhorias nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Para o painel de PUR, o material foi classificado como P6, de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2018), enquanto, para o painel com adesivo UF, o material foi classificado como P2.

Com isso, este trabalho objetivou a avaliação e a produção de painéis aglomerados com resíduo da madeira *Pinus* utilizando duas metodologias diferentes para produção dos painéis, uma usada em painéis homogêneos e outra com heterogêneos, usando resina de poliuretano derivado do óleo de mamona.

Método

Os estudos para desenvolvimento dos painéis tiveram como base as orientações contidas nos documentos normativos brasileiros NBR 14810-1 (ABNT, 2013), o qual trata da terminologia dos painéis e de seus componentes, e NBR 14810-2 (ABNT, 2018), que elenca os ensaios necessários e os procedimentos de avaliação dos painéis.

A madeira utilizada para a produção dos painéis foi doada pela fazenda da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” do campus de Ilha Solteira. Foi coletada uma amostra da variedade *caribaea* com 33 anos de idade de plantio, que foi descascada e processada por meio de uma plaina desengrossadeira em condição de umidade saturada pela empresa Madeireira Paraíso, do mesmo município. Não se utilizou nenhum processamento mecânico (picador ou moinho) para diminuir as dimensões das partículas de madeiras, sendo elas utilizadas de forma integral para a confecção dos painéis. O adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona, sendo bicomponente, foi usado na proporção 1:1 e doado pela empresa Imperveg, localizada no município de Aguai, SP.

As partículas usadas em ambos os tratamentos foram secas em estufa a 70 °C ± 2 °C (BORYSIUK *et al.*, 2019; KLÍMEK *et al.*, 2016) até que chegassem a uma constância de umidade entre 2% e 3%. Antes de se produzirem os painéis, realizou-se o ensaio de composição granulométrica das partículas de forma adaptada usando a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003), entretanto seguindo os estudos de Trevisan (2021) e Bispo (2021), que utilizaram 35 g de massa de partículas para a realização do ensaio.

Para o cálculo da razão de compactação dos painéis T1 e T2 utilizaram-se as normas NBR 6458 (ABNT, 2017) e a NBR 6457 (ABNT, 2016) de forma adaptada, encontrando, assim, a densidade para as partículas que é proposta pelo método do balão volumétrico. O ensaio se constitui na utilização de um picnômetro n° 2, calibrado para 500 ml de álcool etílico anidro a 99,3 °C INPM, termômetro com graduação de 0,1 °C, no intervalo de -10 °C a 100 °C.

Para a produção dos painéis, realizou-se um estudo exploratório baseado na ideia de que seria possível utilizar o material coletado em sua forma integral, diretamente do chão da marcenaria, após a madeira passar pelo processo de desengrosso de suas toras, ou seja, sem nenhum tratamento para seleção e homogeneização das partículas (SILVA, 2018), como pode ser visto na Figura 2, a seguir, apenas realizando o ensaio de granulometria para classificar o tamanho do material residual, tratamento aqui denominado de painéis homogêneos ou T1.

Depois de coletados os dados do tratamento T1, realizou-se com o mesmo material uma separação granulométrica para a produção dos painéis heterogêneos com três camadas. Para as camadas das faces usou-se uma faixa granulométrica variando de 4,75 mm a 1,19 mm (Figura 2b), enquanto para a camada interna do painel usou-se uma faixa que variou de 19,1 mm a 4,75 mm (Figura 2a), chamado de T2. A distribuição da quantidade de massa para os painéis heterogêneos se baseou no estudo de Iwakiri, Mendes e Saldanha (2003), sendo 30% da massa das partículas para cada camada externa e 40% para a camada interna do painel.

Ambos os painéis foram produzidos com os mesmos parâmetros: a densidade inicial foi adotada com 0,550 g/cm³, com dimensões de 350x350x12 mm, obtendo-se assim um valor de massa total de 810 g para cada tratamento. O adesivo foi dosado em função da massa seca, calculada em cerca de 10% para os painéis homogêneos, conforme recomenda a literatura (IWAKIRI 2005; SOUZA *et al.*, 2022a, 2022b).

Devido ao fato de os painéis T1 apresentarem resultados insuficientes, foram utilizados cerca de 12% de adesivo para os painéis T2, ou seja, 2% a mais, distribuídos de forma uniforme pelas camadas, com 4% para cada camada do painel (SOUZA *et al.*, 2022a, 2022b).

A homogeneização do adesivo nas partículas foi realizada de acordo com a metodologia empregada nos trabalhos de Buzo *et al.* (2019) e Sugahara *et al.* (2019). Inicialmente foi adicionado o polirol, homogeneizado manualmente por 3 min e por mais 5 min em tambor rotatório; a adição e a homogeneização do pré-polímero ocorreram da mesma maneira. Após a homogeneização do PUR, o procedimento seguinte se constituiu na preparação do colchão de partículas e na prensagem dele na prensa hidráulica, como pode ser visto na Figura 3, sendo o detalhe 3a o painel homogêneo de *Pinus* e o detalhe 3b as camadas do painel heterogêneo. Para os dois tipos de painéis estudados, foram utilizados os mesmos parâmetros de prensagem: pressão de 5 MPa e tempo de 10 min e 30 s para “degasagem”. Para ambos se utilizou aglutinante PUR.

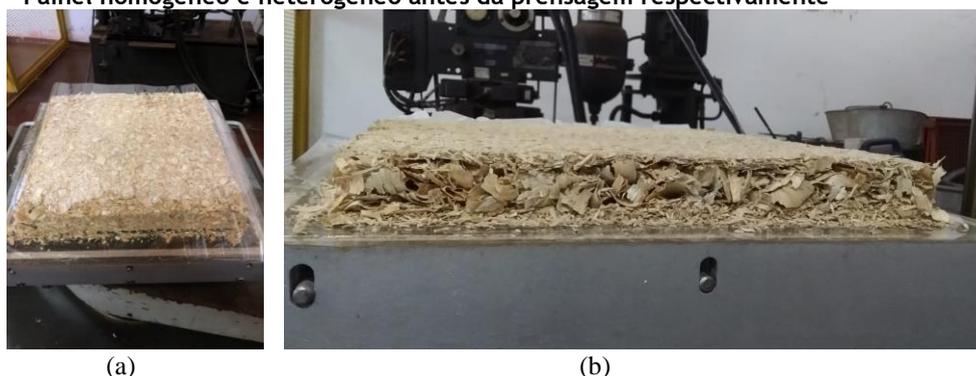
Os resultados dos ensaios de caracterização dos painéis foram analisados por meio do teste de contraste de médias de Tukey, ao nível de 5% de significância, possibilitando avaliar a influência do tipo de painel (de partículas homogêneas ou heterogêneas) em cada uma das propriedades físicas e mecânicas avaliadas. Com o objetivo de melhorar a análise estatística realizada, foram feitos três painéis para cada tratamento.

Em relação à caracterização dos ensaios, primeiramente se realizou o ensaio de flexão estática, que fornece os parâmetros para o módulo de resistência à flexão e o módulo de elasticidade. Após a primeira análise, os painéis foram cortados nas dimensões 50x50x12 mm para a realização dos demais ensaios – tração perpendicular (TP), densidade (D), inchamento por 24 h (I24h), absorção em água por 24 h (AAh) e teor e umidade (TU) –, conforme orienta a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), sendo usados 10 corpos de prova para cada ensaio.

Figura 2 - Partículas usadas na produção dos painéis



Figura 3 - Painel homogêneo e heterogêneo antes da prensagem respectivamente



O documento normativo usado para classificar e avaliar as propriedades dos painéis foi baseado nas normas NBR 14810-2 (ABNT, 2018) e A 208.1 (AMERICAN..., 2009). As normas consideram como os parâmetros mínimos para painéis de média densidade, cujos resultados podem ser observados na Tabela 1.

Resultados e discussões

Caracterização e propriedades das partículas

Composição granulométrica

O objetivo da determinação da composição granulométrica se baseou em encontrar a distribuição granulométrica das partículas que não passaram por nenhum processo de homogeneização mecânica, conforme pode ser visto na Tabela 2. Sabe-se, com base na literatura de Iwakiri (2005), que as partículas possuem correlação com as propriedades finais dos painéis, influenciando também na forma de produção deles.

As partículas de maravalha de *Pinus* para os painéis T1 se distribuíram principalmente entre as peneiras de abertura 12,5 mm a 2,36 mm, totalizando cerca de 81,43% do total do material retido nessa faixa granulométrica. Essa grande variação granulométrica, quando aplicada aos painéis homogêneos, pode ser prejudicial, pois as partículas menores “caem” por gravidade, formando assim duas superfícies diferentes para o mesmo painel, além de haver grande porcentagem passante pela peneira de 1,19 mm, sendo 7,43% do total. Esse material fino e residual pode prejudicar o painel, pois acaba tendo superfície específica maior e, conseqüentemente, absorve uma quantidade maior de adesivo, o que reduz a adesão interna e externa do painel (JAGGER, 1992).

A composição granulométrica das partículas das faces externas do painel T2 se encontram majoritariamente retidas na peneira de diâmetro de 1,19 mm, totalizando cerca de 78,29% do material total. Segundo Iwakiri (2005), a utilização de material fino na superfície dos painéis tem por objetivo conferir melhor acabamento superficial ao material, melhorando-o para ser aplicado em revestimentos. Em relação ao núcleo, a distribuição das partículas de resíduo se tornou semelhante à utilizada para a confecção dos painéis homogêneos.

Densidade da partícula

Os valores referentes à densidade da partícula encontrada pelo método adaptado do balão volumétrico e a comparação com os encontrados nas literaturas supracitadas se encontram nas Tabelas 3 e 4.

Como pode ser visualizado nas tabelas, o resultado obtido no ensaio se mostra bem superior àqueles fornecidos pela literatura. É válido mencionar que a madeira utilizada para produzir material residual possui idade de 33 anos, a espécie de maior idade do presente estudo; o valor que mais se aproxima da massa específica calculada é o encontrado pelo autor Silva Júnior (1993), em que a densidade da espécie *P. bahamensis* de 0,624 foi calculada como sendo material de resíduo de serraria.

As partículas de madeira do presente estudo se caracterizaram com o valor de 0,652 g/cm³, logo como de média densidade (SILVEIRA; REZENDE; VALE, 2013), para ser utilizada para a obtenção dos valores de razão de compactação dos painéis aglomerados.

Avaliação das propriedades dos painéis

Densidade e razão de compactação

Para a realização do ensaio de densidade (Tabela 5), foram utilizados os mesmos corpos de provas do ensaio de tração. Os fatores que influenciam a densificação do painel – como tempo de prensagem, pressão, temperatura e adesivo – também influenciam os resultados referentes à tração perpendicular (TP). Para o cálculo da razão de compactação, foi usada a densidade efetiva, calculada pelo valor médio dos corpos de prova, sendo esse o parâmetro mais importante para comparação com a literatura (IWAKIRI, 2005).

Tabela 1 - Parâmetros normativos usados para a avaliação dos painéis

Normas	Classificação	Densidade (g/cm ³)	TU (%)	I 24 (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
NBR 14810-2 (ABNT, 2018)	P2	0,550 - 0,750	5-13%	22	11	1.800	0,40
A 208.1 (AMERICAN... 2009)	P2	0,640 - 0,800	-	-	11	1.750	0,40

Tabela 2 - Composição granulométrica do resíduo de *Pinus*

Partículas		Painel T1	Painel T2	
Número da peneira	Diâmetro (mm)	Camada única	Camada interna	Camada externa
		% Retido	% Retido	% Retido
3/4"	19,10	0,00	9,43	–
1/2"	12,50	14,57	19,43	–
3/8"	9,52	15,71	21,43	–
1/4"	6,30	18,00	18,57	0,00
#4	4,75	10,86	15,43	0,00
#8	2,36	22,29	14,29	4,86
#16	1,19	10,57	1,14	78,29
#20	0,084	–	–	16,57
Fundo	–	7,43	0,00	0,00

Tabela 3 - Massa específica das partículas de resíduo (ρ_s) de *Pinus caribaea* var. *caribaea*

Espécie	M ₁ (g)	T (°C)	M ₂ (g)	M _s (g)	ρ_{al} (g/cm ³)	ρ_s (g/cm ³)
Pinus	545,8	28,50	546,85	5,00	0,789	0,652

Nota: M₁ é a massa do picnômetro somada com a do álcool mais as partículas de madeira na temperatura T do ensaio; M₂ é a massa do picnômetro somada com a do álcool a uma temperatura T do ensaio, obtida pela curva de calibração do picnômetro; M_s é a massa seca das partículas; e ρ_{al} é a massa específica do álcool usado.

Tabela 4 - Resultado calculado em comparação com a literatura

Literatura encontrada	Massa específica (g/cm ³)
Autores	0,652
Iwakiri <i>et al.</i> (2010)	0,398 (<i>Caribaea</i>); 0,429 (<i>Bahamensis</i>)
Wang, Malcolm e Fletcher (1999)	Entre 0,470 e 0,580
NBR 7190 (ABNT, 1997)	0,579 (<i>Caribaea</i>)
Silva Júnior (1993)	0,449, 0,505 e 0,624 (<i>Bahamensis</i>)

Tabela 5 - Densidade dos tratamentos e razão de compactação

Tratamento	Densidade da Partícula (g/cm ³)	Densidade efetiva (g/cm ³)	Coefficiente de Variação	Razão de compactação
T1	0,652	0,744 ^B	5,06	1,14
T2	0,652	0,786 ^A	1,52	1,21

Nota: letras iguais implicam médias estatisticamente equivalentes e, sendo diferentes, A é maior do que B.

Conforme visto na Tabela 5, a reestruturação do painel gerou aumento na densidade efetiva dele, aumentando a razão de compactação de 1,14 para 1,21. Literaturas, como Araújo *et al.* (2019), citam que, para que um fator de compactação seja classificado como bom, precisa variar de 1,3 a 1,6. O fator de compactação dos painéis homogêneos inferior ao dos painéis homogêneos reflete sobre a alta dispersão granulométrica observada na Tabela 2, o que impossibilita um ajuste real das partículas nas dimensões propostas para prensagem, sendo os dois tratamentos com a razão de compactação inferior à das especificações da literatura.

Com relação à densidade apresentada, a NBR 14810-1 (ABNT, 2013) classifica painéis de média densidade como aqueles que possuem um resultado no intervalo de 0,551 g/cm³ a 0,750 g/cm³. O painel T1 se classifica como painel de média densidade, com 0,744 g/cm³, e o painel T2 como um painel de alta densidade, com 0,786g/cm³.

Propriedades físicas

Os resultados dos ensaios de inchamento por 24 h (I24h) e de absorção em água por 24 h (AA24h), mais o teor de umidade (T.U), referentes à espécie de *Pinus*, e os das literaturas-base podem ser vistos na Tabela 6.

Conforme o esperado, ao se alterar a formação do painel e aumentar o teor de resina, pode-se notar diminuição significativa na AA24h dos painéis do primeiro tratamento em relação aos painéis do segundo, sendo que, para o I24h, o valor era de 22,61%, baixando para 20,80% com a diminuição de 8%, portanto sem diferença estatisticamente significativa. Já para AA24h, foi de 83,51% para 64,36%, redução de 22,9%.

Mesmo com os resultados diminuídos, estes ainda são altos se comparados com os encontrados por Silva *et al.* (2021) e Cabral *et al.* (2017), que também usaram PUR, conforme mostra a Tabela 6. O primeiro tratamento obteve resultados melhores aos encontrados no trabalho de Iwakiri *et al.* (2010), que utilizou as variedades *bahamensis* e *cariabea*, sendo os valores de I24h para as espécies de 25,35% e 31,34% respectivamente.

É interessante ressaltar que no estudo de Iwakiri *et al.* (2017) os painéis tiveram um comportamento diferente do ocorrido com todos os outros, com um I24h muito maior que o esperado para as três misturas propostas, enquanto a AA24h se manteve baixa. Comparados ao presente estudo, os resultados de I24h foram maiores do que os encontrados na literatura.

Em relação ao TU, houve aumento de 46,9% dos painéis heterogêneos (7,36%) em relação aos painéis homogêneos (5,01%). A justificativa para esse aumento pode ser baseada na temperatura ambiente na qual os painéis foram produzidos, em que não houve controle exato do clima, e no aumento do teor de resina, que não prejudicou a avaliação do painel em relação aos parâmetros normativos.

Propriedades mecânicas

Os resultados referentes ao ensaio de tração perpendicular (TP), ao módulo de resistência à flexão estática (MOR) e ao módulo de elasticidade (MOE) se encontram na Tabela 7, assim como a correlação com as literaturas estudadas.

Como se pode observar na Tabela 7, para a proposta de *Pinus* para painéis homogêneos (T1), foi encontrada uma resistência à flexão MOR baixa, de 8,45 MPa. Em comparação com a literatura escolhida, os resultados em que o MOR dos painéis homogêneos dessa espécie ficou em uma margem superior foram apenas aqueles de Iwakiri *et al.* (2017), para as misturas de 100% de tocos e raízes de *Pinus* e de 100% de topos e galhos das árvores de *Pinus*, com valores de 8,30 MPa e 6,90 MPa respectivamente.

O valor calculado no presente estudo para MOE, 1.673 MPa, ficou acima de todos os valores encontrados no estudo de Silva *et al.* (2021) e de Cabral *et al.* (2017); e para misturas de tocos e raízes de *Pinus* e de topos e galhos das árvores de *Pinus*, no de Iwakiri *et al.* (2017).

Em relação à tração perpendicular da proposta de painéis homogêneos, o resultado obtido, 0,42 MPa, ficou abaixo de todos os valores das literaturas utilizadas para comparar os valores, resultado esse que pode ser explicado pela falta de estruturação do painel devido à grande dispersão granulométrica das partículas e à deficiência na empacotamento do sistema.

A proposta referente aos painéis heterogêneos (T2) obteve resultados de MOE, MOR e TP melhores do que os painéis homogêneos do primeiro tratamento, com valores de 11,22 MPa, 1.831 MPa e 0,68 MPa respectivamente, ocorrendo aumento estatístico significativo para o MOR e a TP.

Tabela 6 - Resultado dos ensaios físicos dos painéis homogêneos e heterogêneos de *Pinus* comparados com as literaturas

Nomenclatura	Teor de Adesivo	Adesivo	I24h (%)	AA24h (%)	T.U (%)
T1	10%	PUR	22,61^A (21,55) *	83,51^A (15,53) *	5,07^B (8,23) *
T2	12%	PUR	20,80^A (19,23) *	64,36^B (9,03) *	7,35^A (3,90) *
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	PUR	11,42	-	-
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	PUR	9,78	-	-
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	UF	9,75	-	-
100% Partículas de <i>Pinus</i> industrial (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	64,71	23,89	-
100% Tocos e raízes de <i>Pinus</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	73,76	26,98	-
100% Topos e galhos das árvores de <i>Pinus</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	51,49	18,85	-
100% <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2010)	8%	UF	31,34	88,93	-
100% <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2010)	8%	UF	25,35	83,74	-
100% <i>Pinus</i> ssp (CABRAL <i>et al.</i> , 2017)	12%	PUR	11,77	100,45	-

Nota: (*)coeficiente de variação referente à amostragem utilizada e resultados do agrupamento pelo teste de contraste de médias de Tukey (5% de significância). Letras iguais implicam médias estatisticamente equivalentes, e, sendo diferentes, A é maior do que B.

Tabela 7 - Resultado dos ensaios mecânicos dos painéis homogêneos e heterogêneos comparados com as literaturas supracitadas

Tratamentos	Teor de Adesivo	Adesivo	MOR (MPa)	MOE (MPa)	T.P (MPa)
T1	10%	PUR	8,44^B (21,84) *	1.673^A (14,33) *	0,41^B (33,29) *
T2	12%	PUR	11,21^A (14,33) *	1.831^A (9,30) *	0,68^A (29,25) *
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	PUR	17,00	1.462	2,18
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	PUR	16,67	1.369	1,73
100% Maravalha de <i>Pinus</i> (SILVA <i>et al.</i> , 2021)	15%	UF	15,83	1.665	1,08
100% Partículas de <i>Pinus</i> industrial (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	10,30	1.913	0,51
100% Tocos e raízes de <i>Pinus</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	8,30	1.341	0,59
100% Topos e galhos das árvores de <i>Pinus</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2017)	8%	UF	6,90	1.154	0,59
100% <i>Pinus caribaea</i> var. <i>caribaea</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2010)	8%	UF	16,73	2.326	1,07
100% <i>Pinus caribaea</i> var. <i>bahamensis</i> (IWAKIRI <i>et al.</i> , 2010)	8%	UF	18,08	2.515	1,14
100% <i>Pinus</i> ssp (CABRAL <i>et al.</i> , 2017)	12%	PUR	8,73	1.266	-

Nota: (*)coeficiente de variação referente à amostragem utilizada e resultados do agrupamento pelo teste de contraste de médias de Tukey (5% de significância). Letras iguais implicam médias estatisticamente equivalentes, e, sendo diferentes, A é maior do que B.

Comparando com a literatura, o resultado de MOR ficou acima das três propostas de Iwakiri *et al.* (2017) e de Cabral *et al.* (2017): 10,30, 8,30, 6,90 e 8,73 MPa respectivamente. O presente estudo, quando comparado ao trabalho de Silva *et al.* (2021) e Iwakiri *et al.* (2010), não obteve nenhum resultado superior. Uma das explicações dos resultados de Silva *et al.* (2021) pode ser a resina utilizada, com 15% em relação ao peso seco, e, para ambos os estudos, a geometria da partícula e o fator de compactação como fatores influentes nas propriedades dos painéis dos quais não houve controle.

Em contrapartida, o resultado de MOE do segundo tratamento, 1.831 MPa, se mostrou maior quando comparado com os de Silva *et al.* (2021) e Cabral *et al.* (2017), e também para misturas de topos e galhos das árvores de *Pinus* e tocos e raízes de Iwakiri *et al.* (2017), conforme pôde ser visto na Tabela 7.

Os resultados em que o painel não foi superior se referem às variedades *caribaea* e *bahamensis* estudadas por Iwakiri *et al.* (2010), sendo de 2.326 MPa e de 2.515 MPa, nos quais os valores da razão de compactação das misturas utilizadas foram 1,726 e 1,618 respectivamente, o que pode explicar a melhora significativa das propriedades (BRITO *et al.*, 2020). Outro valor de MOE referente à mistura de *Pinus* industrial proposta por Iwakiri *et al.* (2017), com resultado superior ao do presente estudo, foi 1.913 MPa, sendo ambas as pesquisas realizadas com teor de adesivo mais baixo (8%) que o estudo proposto.

Em relação à TP dos painéis heterogêneos de *Pinus*, os resultados foram superiores aos calculados nos painéis homogêneos, com valores de 0,68 MPa e 0,42 MPa respectivamente, aumentando 61,09% quando comparados ambos os tratamentos.

Quando comparados com a literatura, os únicos resultados aos quais o segundo tratamento foi superior estão relacionados às três misturas propostas por Iwakiri *et al.* (2017), com resultados de 0,51 MPa, 0,59 MPa e 0,59 MPa, enquanto as outras literaturas – Silva *et al.* (2021) e Iwakiri *et al.* (2010) – obtiveram valores muito superiores àqueles encontrados.

Conclusões

O estudo conclui que é possível usar as partículas de resíduo da espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea* para a produção de painéis aglomerados utilizando resina bicomponente de origem vegetal. O tratamento T1, porém, não pode ser classificado perante os documentos normativos brasileiro e americano por apresentar resultados insuficientes, sendo o painel T2 sendo classificado de acordo com a norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), como P2 – Painéis não estruturais para uso interno em condições secas, e com a norma A 208.1 (AMERICAN..., 2009), podendo ser usados como objetos de decoração e móveis.

Outra conclusão é a de que, com a separação das partículas entre as faixas de 4,75 mm a 1,19 mm para as camadas externas e de 19,1 mm a 4,75 mm para o resíduo no núcleo, a reorganização das camadas dos painéis e o aumento do adesivo foram fatores que melhoraram as propriedades finais dos painéis heterogêneos, possibilitando o uso desse material residual na construção civil e na indústria moveleira, com economia da energia que seria utilizada para transformar a maravalha em partículas menores.

Referências

- AMERICAN NACIONAL STANDARDS INSTITUT. **A 208.1**: particleboards physical & mechanical properties requirements. Gaithersburg, 2009.
- 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.
- ARAÚJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. São Carlos, 1992. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: painéis de partículas de média densidade: parte 1: terminologia. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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. **NBR 6457**: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm: determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9939**: agregados: determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- BISPO, R. A. *et al.* Production and evaluation of particleboards made of coconut fibers, pine, and eucalyptus using bicomponent polyurethane-castor oil resin. **BioResources**, North Carolina, v. 17, n. 3, p. 3944-3951, 2022.
- BISPO, R. A. **Produção e avaliação de painéis de partículas de fibra de coco, pinus e eucalipto aglutinadas com adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona**. Ilha Solteira, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.
- BRANDSHAW, C. J. L. *et al.* Underestimating the challenges of avoiding a ghastly future. **Frontiers in Conservation Science**, v. 1, p. 1-10, 2021.
- BRITO, F. M. S. *et al.* Technological characterization of particleboards made with sugarcane bagasse and bamboo culm particles. **Construction and Building Materials**, United Kingdom, v. 262, p.1-13, 2020.
- 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, n. 4, p. 183-193, out./dez. 2019.
- BORYSIUK, P. *et al.* Sugar beet pulp as raw material for particleboard production. **Industrial Crops and Products**, v. 141, p.1-5, 2019.
- CABRAL, M. R. *et al.* Painéis de partículas com maravalha de *Pinus* spp. e fibra de sisal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 114, p. 353-362, jun. 2017.
- CASSILHA, A. C. *et al.* Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia**, Curitiba, v. 8, p. 209-228, 2004.
- CERQUEIRA, P. H. A. de *et al.* Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 506-510, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Espécies de Pinus mais plantadas no Brasil**. Brasília, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. International Tropical Timber Organization and United Nations. **Forest product conversion factors**. Rome: FAO, ITTO and United Nation, 2020.
- 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.
- 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.). **Pólo moveleiro da serra gaúcha: sistemas de gerenciamento ambiental na indústria moveleira**. Educs, p. 2006.
- FIORELLI, J. *et al.* Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: an eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. (Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113).
- FRANCIS, J. K. ***Pinus caribaea* morelet. Caribbean pine**. New Orleans: Departamento de Agricultura, Forest Service, Southern Forest Experiment Station, 1992.
- GAVA, M. *et al.* Production of particleboards from *hevea brasiliensis* clones and castor oil-based polyurethane resin. **BioResources**, Raleigh, v. 10, n. 4, p. 6896- 6905, 2015.

- 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.
- 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.
- GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto: estudo de caso de espécies e procedências**. Lavras, 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- GURU, M.; ATAR, M.; YILDIRIM, R. Production of polymer matrix composite particleboard from walnut shell and improvement of its requirements. **Materials & Design**, v. 29, p. 284-287, 2008.
- IWAKIRI, S. *et al.* Use of wood from *Pinus caribaea* var. *Caribaea* and *Pinus caribaea* var. *Bahamensis* for production of particleboard panels. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 2, p. 193-198, abr./jun. 2010.
- IWAKIRI, S. *et al.* Utilização de resíduos de exploração florestal de *Pinus taeda* para produção de painéis aglomerados. **Revista Árvore**, v. 41, n. 3, p. 1-8, 2017.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição de camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 89-94, 2003.
- IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. **Painéis de madeira reconstituída**. 2. ed. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2020.
- JAGGER, R. W. The new pallmann ring refiner, type PF, for green sawdust, shavings, and other such materials. In: INTERNATIONAL PARTICLEBOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 26., Washington DC, 1992. **Proceedings [...]** Washington: Washington State University, 1992.
- KLÍMEK, P. *et al.* Using sunflower (*Helianthus annuus* L.), topinambour (*Helianthus tuberosus* L.) and cup-plant (*Silphium perfoliatum* L.) stalks as alternative raw materials for particleboards. **Industrial Crops and Products**, v. 92, p. 157-164, 2016.
- NAKANISHI, E. Y. *et al.* Formaldehyde-free particleboards using natural latex as the polymeric binder. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 1259-1269, 2018.
- 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.
- NEGRÃO, A. G.; PINTO, E. M.; SILVA, L. B. da. Material compósito de fibra da folha do abacaxizeiro (*Ananas comosus*) para uso no ambiente construído. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 627-545, jul./set. 2018.
- PAN, Z.; CARTHART, A.; WANG, D. Properties of particleboard bond with rice bran and polymeric methylene diphenyl diisocyanate adhesives. **Industrial Crops and Products**, v. 23, p. 40-15, 2006.
- RAVEN, P.; WACKERNAGE, M. Maintaining biodiversity will define our long-term success. **Plant Diversity**, v. 42, n. 4, p. 211-220, 2020.
- SANTOS, J. *et al.* Valorisation of non-timber by-products from maritime pine (*Pinus pinaster*, Ait) for particleboard production. **Industrial Crops and Products**, v. 168, p. 113581, 2021.
- SILVA JÚNIOR, F. G. Utilização múltipla da madeira de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* para produção de celulose kraft. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 9, n. 27, p. 56-62, ago. 1993.
- SILVA, J. M. da *et al.* Divergência genética entre progênies de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com base em caracteres quantitativos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 69, p. 69, 2012.
- SILVA, V. U. da *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**, v. 285, p. 1-17, 2021.
- SILVA, V. U. da. **Viabilidade técnica do reaproveitamento da maravalha de forma integral na produção de painéis de partículas**. São Carlos, 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p. 179-184, 2013.

SOUZA, M. *et al.* **Painéis aglomerados homogêneos de madeira produzidos com pinus, palha de milho, polietileno tereftalato e poliuretano derivado de óleo de mamona**. Porto Alegre: Atena, 2021.

SOUZA, M. V. de *et al.* Comparative study of particleboards with *Hevea Brasiliensis* waste from different production and moisture configurations. **Wood Research**, v. 67, n. 5, p. 785-795, 2022b.

SOUZA, M. V. de *et al.* Particleboards manufactured from *Tectona grandis* wood waste with homogeneous and three-layer heterogeneous compositions for commercial purposes. **BioResources**, North Carolina, v. 17, n. 3, p. 5011-5020, 2022a.

SUGAHARA, E. S. *et al.* High-density particleboard made from agro-industrial waste and different adhesives. **BioResources**, North Carolina, v. 14, n. 3, p. 5162-5170, 2019.

SUTIAWAN, J. *et al.* The properties of particleboard composites made from three sorghum (*Sorghum bicolor*) accessions using maleic acid adhesive. **Chemosphere**, v. 290, p. 133163, 2022.

TREVISAN, M. F. **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**. Ilha Solteira, 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2021.

VISNARDI, O. C. *et al.* Produção e avaliação física de chapas de partículas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURA DE MADEIRA, 12., Lavras, 2010. **Anais [...]** Lavras, 2010.

WANG, H.; MALCOLM, D. C.; FLETCHER, A. M. *Pinus caribaea* in China: introduction, genetic resources and future prospects. **Forest Ecology and Management**, v. 117, n. 1/3, p. 1-15, 1999.

WECHSLER, A. *et al.* Macadamia (*Macadamia integrifolia*) shell and castor (*Ricinus communis*) oil based sustainable particleboard: a comparison of its properties with conventional wood-based particleboard. **Materials & Design**, London, v. 50, p. 117-123, 2013.

WONG, M. C. *et al.* Grapevine waste in sustainable hybrid particleboard production. **Waste Management**, v. 118, p. 501-509, 2020.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento da pesquisa com o código 001 e ao grupo de pesquisa MAC (Materiais Alternativos de Construção) sediado na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Ilha Solteira.

Matheus Viana de Souza

Conceitualização; Análise dos dados, Pesquisa, Metodologia, Redação do manuscrito original.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | Alameda Bahia, 550 | Ilha Solteira - SP - Brasil | CEP 15385-000 | Tel.: (18) 3743-1158 | E-mail: mv.souza@unesp.br

Sérgio Augusto Mello da Silva

Metodologia, Administração do Projeto, Supervisão, Revisão e edição do texto.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | E-mail: sergio.mello@unesp.br

Pedro Henrique da Silva Cazella

Pesquisa, Metodologia, Design da Apresentação de dados.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | E-mail: p.cazella@unesp.br

Felipe Reis Rodrigues

Pesquisa, Metodologia.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | E-mail: fr.rodrigues@unesp.br

Tainah Eduarda Boian Carneiro

Pesquisa, Metodologia, Disponibilização de ferramentas.

Departamento de Biologia e Zootecnia | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | Av. Brasil Sul, 226, Centro | Ilha Solteira - SP - Brasil | CEP 15385-000 | Tel.: (18) 3743-1152 | E-mail: tainah.boian@unesp.br

Edna Moura Pinto

Supervisão, Revisão e edição do texto.

Departamento de Arquitetura e Urbanismo | Universidade Federal do Rio Grande do Norte | Rua da Tecnologia, Lagoa Nova, Campus I | Natal - RN - Brasil | Tel.: (84) 3215-3721 | E-mail: emourapinto@gmail.com

Aline Redondo Martins

Supervisão, Disponibilização de ferramentas.

Departamento de Biologia e Zootecnia | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | Av. Brasil Sul, 226, Centro | Ilha Solteira - SP - Brasil | CEP 15385-000 | Tel.: (18) 3743-1152 | E-mail: aline.martins@unesp.br

Márcia Regina de Moura Aouada

Supervisão, Disponibilização de ferramentas.

Departamento de Física e Química | Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” | Tel.: (18) 3743-1029 | E-mail: marcia.aouada@unesp.br

André Luis Christoforo

Análise de Dados, Validação de dados e experimentos, Pesquisa.

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | Rod. Washington Luiz, s/n, Monjolinho | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13565-905 | Tel.: (16) 3351-8262 | E-mail: alchristoforo@ufscar.br

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.