

Artigos

Avaliação de painéis de média densidade de bagaço de cana-de-açúcar

Assessment of medium density panels of sugarcane bagasse

Afonso José Felício Peres Duran¹ 
Wanley Eduardo Lopes Júnior¹ 
Mariana Pavesi¹ 
Juliano Fiorelli¹ 

¹Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil

RESUMO

Os painéis de partículas de média densidade representam uma alternativa para uso dos subprodutos lignocelulósicos, encontrados de forma abundante e que ocasionam impactos ambientais quando descartados de forma inadequada. Nesse escopo, o objetivo desta pesquisa consistiu em avaliar o potencial de painéis de partículas multicamadas, produzidos com bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-mamona) e confrontar os resultados com os requisitos estabelecidos pela norma brasileira de painéis de partículas de madeira (NBR 14810-2:2018). Para tanto, foram analisadas as propriedades físicas e mecânicas e a resistência à umidade, de painéis de partículas multicamadas com espessura de 15 mm e média densidade (600 e 750 kg.m⁻³) de partículas de bagaço de cana-de-açúcar aglomeradas com resina PU mamona (12% para camada interna e 15% para camada externa). Os resultados obtidos indicaram que os painéis com 750 kg.m⁻³ apresentaram melhor desempenho, atingindo todos os requisitos exigidos para classificá-los, de acordo com as recomendações da norma brasileira para painéis de madeira, como painéis do tipo P2, uso não estrutural em condições secas.

Palavras-chave: Painéis de partículas; Bagaço de cana-de-açúcar; MDP



ABSTRACT

Medium-density particleboards represent an alternative for the use of lignocellulosic by-products, found in abundance and which causes environmental impacts when improperly disposed of. In this scope, the objective of this research was to evaluate the potential of multilayer particle boards, produced with sugarcane bagasse and polyurethane resin based on castor oil (PU-castor) and compare the results with the requirements established by the Brazilian standard for wood particle board (NBR 14810-2:2018). For that, the physical and mechanical properties and the resistance to humidity of multilayer particle boards with a thickness of 15 mm and medium density (600 and 750 kg.m⁻³) of agglomerated sugarcane bagasse particles were analyzed. with castor oil PU resin (12% for the inner layer and 15% for the outer layer). The results obtained indicated that the panels with 750 kg.m⁻³ presented better performance, reaching all the requirements required to classify them, according to the recommendations of the Brazilian standard for wood panels, such as P2 type panels, non-structural use in dry conditions.

Keywords: Particleboard; Sugarcane bagasse; MDP

1 INTRODUÇÃO

O uso de resíduos agroindustriais como matéria-prima para a produção de novos materiais vem ganhando destaque nos últimos anos, visando viabilizar o desenvolvimento de materiais sustentáveis que possam minimizar os impactos ambientais causados pelo descarte de resíduos de culturas agrícolas (MARAVEAS, 2020). Destacam-se as pesquisas utilizando subprodutos como o bagaço da cana-de-açúcar (FIORELLI; SARTORI; CRAVO; SAVASTANO JUNIOR; ROSSIGNOLO; NASCIMENTO; LAHR, 2013), fibra da casca do coco verde (FIORELLI; CHRISTOFORO; LAHR; NASCIMENTO; CURTOLO; SARTORI; BELINI, 2015), farelo de aveia (VARANDA; NASCIMENTO; CHRISTOFORO; SILVA; LAHR, 2013), palha de trigo (CAO; SONG; YANG; CHEN; ZHANG, 2017), casca de arroz (CIANNAMEA; MARIN; RUSECKAITE; STEFANI, 2017), entre outros.

Dentro desse contexto, apresenta-se os painéis MDP (medium density particleboard), confeccionados a partir de partículas de madeira aglutinadas por adesivo, sendo o conjunto prensado sob calor em período suficiente para a cura da resina (IWAKIRI; SHIMIZU; SILVA; DEL MENEZZI; PUEHRINGHER; VENSON; LARROCA, 2004; NEGRÃO; SILVA; CHRISTOFORO; LAHR, 2014; SILVA; FARRAPO; RIBEIRO; MENDES; MENDES; SCOLFORO, 2015; IHNÁT; LÜBKE; RUSS; PAŽITNÝ, 2018). Esses painéis



podem também ser fabricados utilizando qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico preestabelecido, uma vez que a composição química desses materiais é semelhante à da madeira, mais precisamente as madeiras duras, que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemicelulose do tipo pentosanas (ASHORI; NOURBAKHSH; KAREGARFARD, 2009; TABARSA; ASHORI; GHOLAMZADEH, 2011; FIORELLI; CURTOLO; BARRERO; SAVASTANO; PALLONE; JOHNSON, 2012).

A utilização de resíduos lignocelulósicos da agroindústria para a produção desses painéis particulados se apresenta como uma possibilidade para uma produção mais limpa e ecológica (AKGÜL; ÇAMLIBEL, 2008; HAZRATI-BEHNAGH; ZAREA-HOSSEINABADI; DALIRI-SOSEFI; ABGINEHCHI; HEMMATI, 2016; FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019; RIBEIRO; VILELA; SILVA; NAPOLI; MENDES, 2020), como por exemplo, espiga de milho (PAIVA; PEREIRA; SÁ; CRUZ; VARUM; PINTO, 2012), fibras de coco verde e bagaço de cana-de-açúcar (FIORELLI; BUENO; CABRAL, 2019) e linho e cânhamo (SAM-BREW; SMITH, 2017).

Responsáveis pela aglomeração das partículas, as resinas comerciais, como ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, liberam gases tóxicos no processo de fabricação (KUSUMAH; UMEMURA; GUSWENRIVO; YOSHIMURA; KANAYAMA, 2017; MUTTIL; RAVICHANDRA; BIGGER; THORPE; SHAILAJA; SINGH, 2014; PAN; ZHENG; ZHANG; JENKINS, 2007). Uma alternativa natural e sustentável para o uso de adesivo na produção de painéis é a resina PU-mamona que já foi avaliada em diversos estudos de painéis de partículas e apresentou potencial como aglutinante, gerando painéis que atenderam os requisitos das normas internacionais para propriedades físicas e mecânicas (BATTISTELLE; BATTISTELLE; FUJINO; SILVA; BEZERRA; VALARELLI, 2016; CAMPOS; LAHR; CHRISTOFORO; NASCIMENTO, 2014; GARZÓN-BARRERO; SHIRAKAWA; BRAZOLIN; PEREIRA; LARA; SAVASTANO JR, 2016; GAVA; MÜZEL; LIMA; BARBOSA; GARCIA; FERREIRA; SERVOLO FILHO; BERNARDES; ARAUJO, 2015; VARANDA; YAMAJI; SANTOS; SILVA; CHRISTOFORO; LAHR, 2018).



O trabalho desenvolvido por Fiorelli, Bueno e Cabral (2019) avaliou as propriedades físicas, mecânicas, térmicas e a durabilidade (intemperismo acelerado) de painéis de partículas multicamadas, produzidos com fibras da casca do coco verde e bagaço de cana-de-açúcar, confeccionados com duas densidades (500 e 700 kg.m⁻³), compostos por três camadas, duas externas (bagaço de cana) e um interna (fibra de coco verde) aglomeradas com resina poliuretana PU-mamona. Os resultados relativos às propriedades mecânicas indicaram que os painéis de partículas produzidos com densidade de 700 kg.m⁻³ atendem apenas a ANSI A208.1-1999 para painéis de partículas M-2. Os painéis avaliados após o ensaio de intemperismo acelerado apresentaram degradação, indicando que as condições de exposição (temperatura, umidade entre outros) causaram danos permanentes às propriedades físicas e mecânicas.

Embora as pesquisas com enfoque na avaliação de painéis de partículas utilizando-se de subprodutos agroindustriais apresentem resultados satisfatórios em comparação aos requisitos exigidos pelas normas nacionais e internacionais, a avaliação de resistência à umidade desses painéis ainda carece de estudos, evidenciando assim o ineditismo desta pesquisa.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis multicamadas, produzidos com partículas de bagaço de cana-de-açúcar aglutinadas com resina PU de mamona e confrontar os resultados com as recomendações da norma brasileira NBR 14810-2:2018 – Painéis de partículas de média densidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste projeto foram utilizados bagaço da cana-de-açúcar fornecido por usina sucroalcooleira da região de Pirassununga-SP.

A resina utilizada para aglomerar os painéis particulados foi a comercial poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU de mamona) no teor de 12% para a camada interna e 15% para as camadas externas de acordo com as recomendações de Fiorelli, Bueno e Cabral (2019).



2.1 Produção dos painéis multicamadas

As etapas de fabricação dos painéis de partículas multicamadas incluíram os passos resumidamente comentados a seguir e adaptados de Fiorelli, Bueno e Cabral (2019). O processo teve seu início por meio da coleta de bagaço de cana-de-açúcar, sendo posteriormente seco até atingir teor de umidade variando de 6,5-8,5%. A matéria-prima foi então processada utilizando-se de um moinho de facas e seguidamente inserida em agitador, separando o material por meio de peneiras em diferentes dimensões, obtendo fibras com comprimento entre 0,3 e 1,0 mm para as partículas utilizadas nas camadas externas e 1,0 e 4,0 mm de comprimento para as partículas de camada interna.

As partículas, já processadas, foram misturadas ao adesivo PU-mamona por meio de um misturador de partículas planetário, com teores respectivos de 12% para a camada interna e 15% camadas externas, e seguindo as recomendações de aplicação da fornecedora, na proporção de 1:1,5 (pré-polímero + polioliol). Após a mistura, o material foi inserido em molde formador de colchão (40 x 40 cm) para prensagem, onde a proporção de matéria-prima utilizada entre as camadas foi de 60% da massa das partículas na camada interna e 20% nas camadas externas (20:60:20).

Uma prensa termo-hidráulica foi utilizada para a produção dos painéis. A prensagem ocorreu inicialmente à pressão de 5 MPa, temperatura de 100°C por um período de 10 minutos, seguindo as recomendações de Fiorelli, Curtolo, Barrero, Savastano, Pallone e Johnson (2012). Os painéis obtidos apresentam dimensões de 40 x 40 cm e espessura de 15 mm. Por fim, os compósitos produzidos foram acondicionados em sala climatizada com condições de temperatura e umidade controladas ($20 \pm 3^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de UR) até a obtenção de massa constante e garantindo a cura por completo da resina adesiva.

Ao todo, foram produzidos em laboratório 6 painéis, sendo 3 painéis multicamadas de partículas para cada composição avaliada, utilizando-se de



partículas de bagaço de cana-de-açúcar aglomeradas com resina PU mamona. A primeira composição foi confeccionada com densidade de 600 kg/m³ (C1) e a segunda composição com densidade de 750 kg/m³ (C2), mantendo as mesmas proporções de massa e teores de resina para ambas.

2.2 Caracterização dos painéis

Os painéis foram avaliados de acordo com as especificações exigidas pela norma brasileira NBR 14810-2:2018, destacando-se que esta seja uma normativa estabelecida para painéis de madeira e não haja documentos normativos específicos para o uso de materiais lignocelulósicos provenientes de subprodutos agroindustriais. As avaliações dos painéis foram realizadas por meio dos ensaios de flexão estática, tração perpendicular, densidade, inchamento em espessura após 24 h de imersão em água e após ensaio cíclico de resistência à umidade, sendo avaliados 10 corpos de prova por composição e para cada análise.

A análise de resistência à umidade dos painéis foi realizada por meio de ensaio cíclico proposto pela NBR 14810-2:2018. O ensaio cíclico dos corpos de prova foi repetido por 3 vezes (sendo necessário 21 dias), passando pelas etapas de imersão em água (20°C, 72 h), alocação em freezer (entre -12°C e -20°C, 24 h) e secagem em estufa (70°C, 72 h). Os resultados obtidos foram confrontados com os estabelecidos pela NBR 14810:2018 para as classes P2 e P3.

Avaliações não destrutivas de perfil de densidade e microscopia eletrônica de varredura foram realizadas com objetivo de avaliar de forma qualitativa os materiais e compreender os resultados físicos e mecânicos obtidos experimentalmente. O ensaio para o perfil de densidade foi realizado utilizando um densitômetro de raio X, marca IMAL, modelo PDX300-LTE e avaliados 10 corpos de prova com dimensões de 50 x 50 mm, a fim de verificar a espessura do painel, aglomeração das partículas e variação da densidade ao longo da espessura do compósito.



A caracterização microestrutural foi realizada em um microscópio eletrônico de varredura da marca TM 3000 TABLETOP MICROSCOPE HITACHI e as imagens obtidas visavam verificar a aglomeração das partículas e a distribuição da resina.

2.3 Análise estatística

Os valores encontrados para as propriedades físico-mecânicas foram avaliados pela estatística descritiva, a fim de organizar os resultados. Como medida de tendência central, foi adotada a média aritmética e, como medida de dispersão, o coeficiente de variação. Após a análise descritiva, os dados obtidos foram submetidos a uma análise inferencial para verificar a existência de variância significativa entre as composições que foram estudadas. Os dados foram, portanto, analisados por meio da análise de variância (ANOVA) e quando significativos o Teste F foi aplicado para eleger a melhor composição, ambos com $p < 0,05$. Os testes foram conduzidos no *software* SAS® versão 9.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar obtidas conforme as composições C1 e C2 mencionadas anteriormente estão apresentadas pela média e respectivo coeficiente de variação (CV). Esses resultados obtidos experimentalmente foram discutidos tendo por base as especificações da norma brasileira NBR 14810-2:2018.

3.1 Propriedades físicas e mecânicas dos painéis antes e após ao ensaio cíclico de resistência à umidade

A Tabela 1 apresenta os resultados médios para cada uma das composições de painéis de partículas antes do ensaio cíclico de resistência à umidade (C1 e C2), obtidos de acordo com os valores de Inchamento em espessura (IE), os módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) e, pela adesão interna (AI) e os resultados de IE e AI



após o ensaio cíclico de resistência à umidade (C1-U e C2-U), onde os corpos de prova foram submetidos ao estresse de diferentes condições de ambiente e temperatura, simulando a umidade do material avaliado.

Tabela 1 – Valores médios das propriedades físicas e mecânicas de cada composição dos painéis de partículas antes e após ensaio cíclico de resistência à umidade

Anterior ao ensaio cíclico					Após ao ensaio cíclico		
Composição	IE (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	AI (MPa)	Composição	IE (%)	AI (MPa)
	24 horas					24 horas	
C1	15,28	13,23	1350	0,54	C1-U	11,01	0,18
(CV)	2,06	14,73	14,18	14,19	(CV)	6,01	40,30
C2	14,99	15,48	1885	1,02	C2-U	12,52	0,39
(CV)	9,52	27,83	14,77	22,49	(CV)	6,58	45,18
Teste (F)	0,0001	0,1233	0,0001	0,0036	Teste (F)	0,0001	0,0036
NBR 14810-2:2018 Tipo P2	22	11	1600	0,35	NBR 14810-2:2018 Tipo P2	-	-
NBR 14810-2:2018 Tipo P3	14	14	1950	0,45	NBR 14810-2:2018 Tipo P3	13	0,13

Fonte: Autores (2021)

Em que: Médias diferem significativamente a 5% pelo Teste F.

Dentro do contexto dos resultados anteriores ao ensaio cíclico e em específico para a propriedade física de inchamento em espessura (IE), foi observado que as composições C1 e C2 diferem estatisticamente pelo resultado obtido no Teste F ($p < 0,05$). Para as propriedades mecânicas, como módulo de elasticidade (MOE) e adesão interna (AI), C1 e C2 também apresentam diferença estatística entre si de acordo com o Teste F ($p < 0,05$). Entretanto, o mesmo não pode ser afirmado para a propriedade mecânica de módulo de ruptura (MOR), pois as composições em estudo não diferem estatisticamente ($p > 0,05$).



Os valores de inchamento em espessura de ambas as composições (C1 e C2) apresentaram índices menores quando comparados com os resultados dos painéis de 700 kg/m³ apresentados por Fiorelli, Bueno e Cabral (2019), porém os resultados de módulo de ruptura e elasticidade apresentaram-se de forma similar aos obtidos pelo mesmo trabalho.

Embora as composições C1 e C2 apresentem algumas diferenças estatísticas, ambas atenderam os requisitos das propriedades físicas estabelecidos pela norma NBR 14810-2:2018, para painéis não estruturais em condições secas (painéis do tipo P2). Porém, o resultado médio obtido para a propriedade mecânica de MOE na composição C1 não atingiu o mínimo exigido pela norma. Assim sendo, a composição C2 é selecionada como a mais adequada para produção de painéis de média densidade do tipo P2.

Os resultados físicos e mecânicos anteriores ao ensaio cíclico também se apresentam em conformidade com a viabilidade da produção de painéis de partículas utilizando-se de bagaço de cana-de-açúcar, como visto em trabalho apresentado por Yano, Silva, Almeida, Aquino, Christoforo, Rodrigues, Carvalho Junior, Silva e Lahr (2020), onde foram confeccionados painéis de partículas de média densidade utilizando-se de serragem e bagaço de cana-de-açúcar aglomerados com resina PU-mamona, sendo que o tratamento utilizando 50% de bagaço de cana-de-açúcar e 50% de serragem também atingiu todos os requisitos para classificação de painéis em condições secas e uso não estrutural (tipo P2) de acordo com a norma NBR 14810-2:2018. Segundo os autores, os painéis do referido tratamento apresentam possibilidade de serem utilizados como revestimento para melhorar a performance térmica e acústica de construções.

Conforme os resultados após ensaio cíclico, na propriedade física de inchamento em espessura (IE), foi observado que as composições C1-U e C2-U diferem estatisticamente pelo resultado obtido no Teste F ($p < 0,05$). Para a propriedade mecânica de adesão interna (AI), C1-U e C2-U também apresentam diferença estatística entre si de acordo com o Teste F ($p < 0,05$).

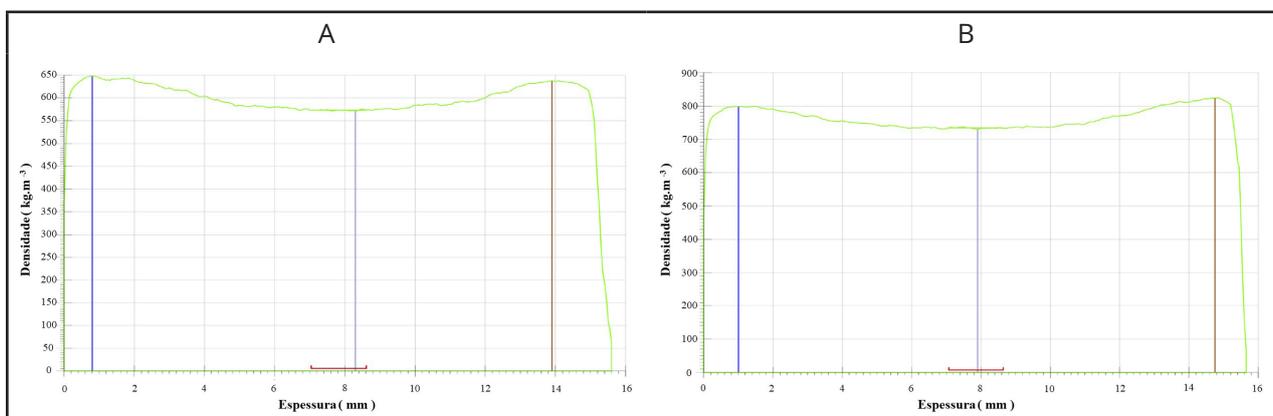


Apesar de C1-U e C2-U apresentarem algumas diferenças estatísticas, ambos atenderam aos requisitos para resistência à umidade da norma NBR 14810-2:2018, para painéis não estruturais em condições úmidas (painéis do tipo P3). Entretanto, as composições utilizadas nesse trabalho não podem ser indicadas para produção de painéis de média densidade do tipo P3, pois as composições C1 e C2 não atingem o MOE mínimo exigido pela norma para essa finalidade.

3.2 Análise do perfil de densidade dos painéis de partículas

Segundo trabalho desenvolvido por Klímek, Wimmer, Meinschmidt e Kúdela (2018), os perfis de densidade dos painéis de partículas obtidos por meio da densitometria de Raio-X apresentam-se normalmente em forma de U, o que pode ser visualizado por meio da Figura 1. Foi observado que se formam picos de densidades mais altos nas regiões das camadas externas, fato que está associado à maior pressão recebida na área que apresenta partículas de tamanho menor e maior conteúdo de resina do que em relação à camada interna. Isso ocorre, pois as fibras das camadas externas estão em contato direto com a prensa térmica, fazendo com que essas fibras sejam prontamente densificadas, o que foi observado em trabalhos como o de Sambrew e Smith (2015) e Fiorelli, Bueno e Cabral (2019).

Figura 1 – Perfis de densidade das composições C1 e C2



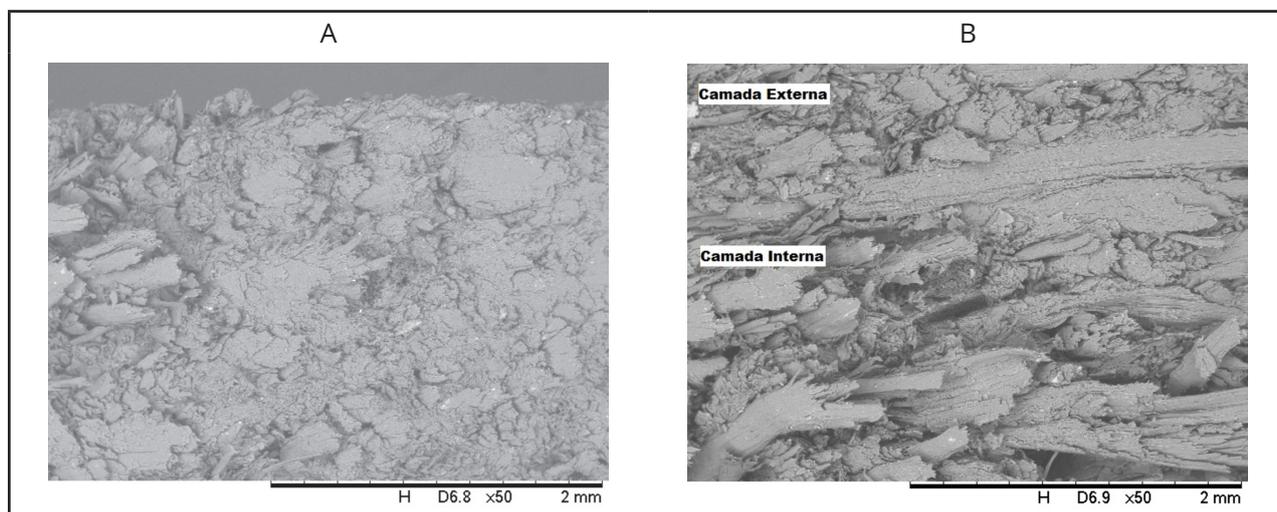
Fonte: Autores (2021)

Em que: A) Perfil de densidade da composição C1; B) Perfil de densidade da composição C2.



Em imagens obtidas por meio de microscopia eletrônica de varredura, fica evidenciado a diferença de compactação entre a camada externa e camada interna nos painéis de partículas, sendo que o aumento de densidade devido à compactação acaba por reduzir os espaços ou vazios na camada externa. A Figura 2 A ilustra a região externa de um painel de partículas multicamadas de bagaço de cana com densidade de 750 kg/m^3 e a Figura 2 B uma região de transição entre a camada externa para camada interna desse mesmo painel, onde a camada externa apresenta grau de compactação mais elevado quando em comparação com a camada interna.

Figura 2 – Imagens de um painel obtidas por MEV com aumento de 50x



Fonte: Autores (2021)

Em que: A) Imagem com enfoque na camada externa. B) Imagem em uma região de transição entre camadas

4 CONCLUSÕES

Os resultados das propriedades físicas e mecânicas antes e após o ensaio cíclico de resistência à umidade demonstraram que o bagaço de cana-de-açúcar apresenta potencial para fabricação de painéis de partículas.

Comparativamente, os painéis com densidade de 600 kg/m^3 não atenderam aos requisitos mínimos exigidos pela normativa confrontada. Em contrapartida, os painéis



com densidade de 750 kg/m³ atenderam a todos os requisitos mínimos exigidos para os resultados anteriores ao ensaio cíclico de resistência à umidade, apresentando também resultados superiores em relação ao inchamento em espessura e adesão interna após o ensaio cíclico.

Os painéis com densidade de 750 kg/m³ não atingiram o valor de módulo de elasticidade necessário para classificação de painéis do tipo P3, sendo, portanto, classificados como painéis do tipo P2, sendo recomendados pela norma NBR 14810-2:2018 para aplicações não estruturais em condições secas.

Tendo em vista a ausência de normativas específicas para o uso de subprodutos agroindustriais na produção de painéis de partículas, os estudos comparativos às normas de painéis de madeira apresentam grande importância dentro do cenário de materiais não convencionais. Dentro desse contexto, a avaliação da resistência à umidade dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar se apresentava como uma lacuna de estudo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Processo nº 2019/21007-0 (ANR FAPESP) pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado também com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com apoio do CNPq – Edital Universal 2018, proc. 407451/2018-8.

REFERÊNCIAS

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.

AKGÜL, M.; ÇAMLIBEL, O. Manufacture of medium density fiberboard (MDF) panels from rhododendron (*R. ponticum* L.) biomass. **Building and Environment**, v. 43, n. 4, p. 438–443, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.003>.

ASHORI, A.; NOURBAKHS, A.; KAREGARFARD, A. Properties of medium density fiberboard based on bagasse fibers. **Journal of Composite Materials**, v. 43, n. 18, p. 1927–1934, 2009. <https://doi.org/10.1177/0021998309341099>.



BATTISTELLE, R. A. G.; BATTISTELLE, R. A. G.; FUJINO, D. M.; SILVA, A. L. C. e; BEZERRA, B. S.; VALARELLI, I. de D. Physical and mechanical characterization of sugarcane bagasse particleboards for civil construction. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 4, n. 4, p. 408–417, 2016. <https://doi.org/10.13044/j.sdwes.2016.04.0031>

CAMPOS, C. I. de; LAHR, F. A. R.; CHRISTOFORO, A. L.; NASCIMENTO, M. F. do. Castor Oil Based Polyurethane Resin Used in the Production of MediumDensity Fiberboard. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n. 4, p. 185–189, 2014. DOI: 10.5923/j.cmaterials.20140404.02.

CAO, Y.; SONG, W.; YANG, Z.; CHEN, Z.; ZHANG, S. The Properties of Particleboard Made from Alkaline-treated Wheat Straw and Methylene Diphenyl Diisocyanate Binder. **Bioresources**, v. 12, n. 2, p. 3265–3276, 2017. DOI: 10.15376/biores.12.2.3265-3276.

CIANNAMEA, E. M.; MARIN, D. C.; RUSECKAITE, R. A.; STEFANI, P. M. Particleboard based on rice husk: Effect of binder content and processing conditions. **Journal of Renewable Materials**, v. 5, n. 5, p. 357–362, 2017. DOI:10.7569/JRM.2017.634125.

FIORELLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JR., H.; PALLONE, E. M. de J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, n. 1, p. 69–75, 2012. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.02.033.

FIORELLI, J.; SARTORI, D. de L.; CRAVO, J. C. M.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J. A.; NASCIMENTO, M. F. do; LAHR, F. A. R. Sugarcane bagasse and castor oil polyurethane adhesive-based particulate composite. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 439–446, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000004>

FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F. do; CURTOLO, D. D.; SARTORI, D. de L.; BELINI, U. L. Painéis de partículas monocamadas fabricados com resíduo de madeira e fibra de coco verde. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, v. 43, n. 105, p. 175–182, 2015. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr105/cap17.pdf>

FIORELLI, J.; BUENO, S. B.; CABRAL, M. R. Assessment of multilayer particleboards produced with green coconut and sugarcane bagasse fibers. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 1–9, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.02.024.

GARZÓN-BARRERO, N. M.; SHIRAKAWA, M. A.; BRAZOLIN, S.; PEREIRA, R. G. de F. N. de B.; LARA, I. A. R. de; SAVASTANO JR, H. Evaluation of mold growth on sugarcane bagasse particleboards in natural exposure and in accelerated test. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 115, p. 266–276, 2016. DOI: 10.1016/j.ibiod.2016.09.006.

GAVA, M.; MÜZEL, S. D.; LIMA, L. R. de; BARBOSA, J. C.; GARCIA, J. N.; FERREIRA, B. S.; SERVOLO FILHO, H. J.; BERNARDES, M. S.; ARAUJO, V. A. de. Production of particleboards from Hevea brasiliensis clones and castor oil-based polyurethane resin. **BioResources**, v. 10, n. 4, p. 6896–6905, 2015. DOI: 10.15376/biores.10.4.6896-6905.



HAZRATI-BEHNAGH, M.; ZAREA-HOSSEINABADI, H.; DALIRI-SOSEFI, M.; ABGINEHCHI, Z.; HEMMATI, A. Mechanical and insulating performances of ultralight thick particleboard from sugarcane residues and woods planer shaving. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 74, n. 2, p. 161–168, 2016. DOI:10.1007/s00107-015-0989-7.

IHNÁT, V.; LÜBKE, H.; RUSS, A.; PAŽITNÝ, A. Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards part II. Preparation and characterisation of wood fibres in terms of their reuse. **Wood Research**, v. 63, n. 3, p. 431–442, 2018. Disponível em: <http://www.woodresearch.sk/wr/201803/07.pdf>

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. de C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 883–887, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000600013>

KLÍMEK, P.; WIMMER, R.; MEINLSCHMIDT, P.; KÚDELA, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 270–276, 2018. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.10.032.

KUSUMAH, S. S.; UMEMURA, K.; GUSWENRIVO, I.; YOSHIMURA, T.; KANAYAMA, K. Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: influences of pressing temperature and time on particleboard properties. **Journal of Wood Science**, v. 63, n. 2, p. 161–172, 2017. DOI: 10.1007/s10086-016-1605-0.

MARAVEAS, C. Production of sustainable construction materials using agro-wastes. **Materials**, v. 13, n. 2, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ma13020262>

MUTTIL, N.; RAVICHANDRA, G.; BIGGER, S. W.; THORPE, G. R.; SHAILAJA, D.; SINGH, S. K. Comparative Study of Bond Strength of Formaldehyde and Soya based Adhesive in Wood Fibre Plywood. **Procedia Materials Science**, v. 6, n. December, p. 2–9, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.002>

NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M. da; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 3, p. 103–112, 2014. DOI: 10.1590/S1678-86212014000300008.

PAIVA, A.; PEREIRA, S.; SÁ, A.; CRUZ, D.; VARUM, H.; PINTO, J. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 274–279, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.019>

PAN, Z.; ZHENG, Y.; ZHANG, R.; JENKINS, B. M. Physical properties of thin particleboard made from saline eucalyptus. **Industrial Crops and Products**, v. 26, n. 2, p. 185–194, 2007. DOI: 10.1016/j.indcrop.2007.03.006.

RIBEIRO, D. P.; VILELA, A. P.; SILVA, D. W.; NAPOLI, A.; MENDES, R. F. Effect of Heat Treatment on the Properties of Sugarcane Bagasse Medium Density Particleboard (MDP) Panels. **Waste and Biomass Valorization**, v. 11, n. 11, p. 6429–6441, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00882-9>



SAM-BREW, S.; SMITH, G. D. Flax and Hemp fiber-reinforced particleboard. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 940–948, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.09.079>

SAM-BREW, S.; SMITH, G. D. Flax shive and hemp hurd residues as alternative raw material for particleboard production. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 5715–5735, 2017. DOI: 10.15376/biores.12.3.5715-5735.

SILVA, D. W.; FARRAPO, C. L.; RIBEIRO, D. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; SCOLFORO, J. R. S. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 853-862, dez. 2015. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.10.

TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 5, p. 1330–1335, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.12.018>

VARANDA, L. D.; NASCIMENTO, M. F. do; CHRISTOFORO, A. L.; SILVA, D. A. L.; LAHR, F. A. R. Oat hulls as addition to high density panels production. **Materials Research**, v. 16, n. 6, p. 1355–1361, 2013. DOI: 10.1590/S1516-14392013005000131.

VARANDA, L. D.; YAMAJI, F. M.; SANTOS, L. R. O.; SILVA, D. A. L.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Physical performance of particleboards using castor oil-based adhesive. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 10, p. 707–712, 2018. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n10p707-712.

YANO, B. B. R.; SILVA, S. A. M.; ALMEIDA, D. H. de; AQUINO, V. B. de M.; CHRISTOFORO, A. L.; RODRIGUES, E. F. C.; CARVALHO JUNIOR, A. N.; SILVA, A. P.; LAHR, F. A. R. Use of sugarcane bagasse and industrial timber residue in particleboard production. **BioResources**, v. 15, n. 3, p. 4753–4762, 2020. DOI: 10.15376/biores.15.3.4753-4762.

Contribuição de Autoria

1 Afonso José Felício Peres Duran

Engenheiro de Biosistemas, Doutorando em Engenharia e Ciência de Materiais
<https://orcid.org/0000-0003-2149-177X> • afonso.duran@usp.br

Contribuição: : Conceitualização; Análise de dados; Metodologia; Design da apresentação de dados; Redação do manuscrito original; Escrita – revisão e edição

2 Wanley Eduardo Lopes Júnior

Engenheiro de Biosistemas, Doutorando em Engenharia e Ciência de Materiais
<https://orcid.org/0000-0002-6647-5469> • wanley.lopes@usp.br

Contribuição: Metodologia; Escrita – revisão e edição



3 Mariana Pavesi

Técnica no Laboratório de Construções e Ambiente

<https://orcid.org/0000-0003-2519-4406> • mariana.pavesi@usp.br

Contribuição: Metodologia; Análise de dados

4 Juliano Fiorelli

Engenheiro Civil, Dr., Professor

<https://orcid.org/0000-0001-7012-068X> • julianofiorelli@usp.br

Contribuição: Administração do projeto; Recebimento de financiamento; Escrita – revisão e edição

Como citar este artigo

DURAN, A. J. F. P.; LOPES JÚNIOR, W. E.; PAVESI, M.; FIORELLI, J. Avaliação de painéis de média densidade de bagaço de cana-de-açúcar. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 33, n. 3, e69624, p. 1-16, 2023. DOI 10.5902/1980509869624. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509869624>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.