

Painéis híbridos de lâminas e partículas de madeira para uso estrutural

Hybrid wood veneer panels and particleboards for structural use

Laurenn Borges de Macedo
Vinicius Borges de Moura Aquino
Anderson Renato Vobornik Wolenski
André Luis Christoforo
Francisco Antonio Rocco Lahr

Resumo

O uso de painéis de madeira tem ganhado destaque na indústria da construção civil. Os painéis MDP não atingem requisitos estruturais, ao contrário dos painéis OSB e compensado. Uma alternativa a fim de aprimorar o uso de painéis de partículas de madeira consiste no reforço desses com lâminas de madeira (painéis híbridos). Esta pesquisa objetivou avaliar o potencial de uso de painéis híbridos fabricados com partículas e lâminas de madeira de *Pinus* sp. e com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, obedecendo à norma ABNT NBR 14810-2. Os resultados das propriedades físicas e mecânicas foram comparados com os requisitos normativos para painéis OSB (EN 300) e compensados (DIN 68792), e também com os resultados de painéis comerciais OSB e compensado. Os painéis híbridos atenderam os requisitos normativos para painéis comerciais OSB e compensado, indicados para uso estrutural. A análise estatística indicou a superioridade das propriedades físicas e mecânica dos painéis híbridos quando comparados com os resultados dos painéis OSB e compensado comerciais, resultado esse também justificado pelo uso da resina à base de mamona.

Palavras-chave: Paineis de madeira compensada. Paineis OSB. Paineis MDP. Resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Abstract

The use of wood panels has been gaining prominence in the construction industry. MDP panels do not meet structural requirements, unlike OSB and plywood panels. An alternative solution to improve the use of wood particleboard is the reinforcement of wood particleboards (hybrid panels). This research study aimed to evaluate the potential of using hybrid panels made with wood particles and veneers of Pinus sp. and with castor-based bicomponent polyurethane resin, meeting the Brazilian Standard ABNT NBR 14810-2. The physical and mechanical properties results were compared with the normative requirements for OSB (EN 300) and plywood panels (DIN 68792), as well as with the results of commercial plywood OSB panels. Hybrid panels met the standard requirements for OSB and plywood commercial panels indicated for structural use. The statistical analysis indicated the superiority of the physical and mechanical properties of the hybrid panels when compared to the results of the OSB and commercial plywood panels, a result that is also due to the use of the castor resin.

Keywords: Plywood panel. OSB panel. MDP panel. Castor-based bicomponent polyurethane resin.

¹Laurenn Borges de Macedo
¹Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

²Vinicius Borges de Moura
Aquino
²Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP - Brasil

³Anderson Renato Vobornik
Wolenski
³Instituto Federal de Santa Catarina
São Carlos - SC - Brasil

⁴André Luis Christoforo
⁴Universidade Federal de São Carlos
São Carlos - SP - Brasil

⁵Francisco Antonio Rocco Lahr
⁵Universidade de São Paulo
São Carlos - SP - Brasil

Recebido em 03/10/18
Aceito em 09/11/18

Introdução

Dentre os painéis engenheirados à base de madeira, destacam-se os painéis compensados, oriented strand board (OSB) e medium density particleboard (MDP), servindo como alternativa ao uso de madeira serrada na construção civil e rural, móveis, entre outras (BERTOLINI *et al.*, 2014; FERRO *et al.*, 2015; CHIROMITO *et al.*, 2016; NASCIMENTO *et al.*, 2016; GILBERT *et al.*, 2017).

O OSB é definido como painel de partículas orientadas em camadas, unidas com resina à prova d'água e consolidadas na prensagem a quente (SOUZA *et al.*, 2014; CARVALHO *et al.*, 2014; FERRO *et al.*, 2015, 2016; SEMPLE; ZHANG; SMITH, 2015). Os compensados são definidos como painéis compostos de lamelas de madeira dispostas em direções perpendiculares, aderidas por meio de adesivo, pressão e temperatura (DIAS; LAHR, 2004; REGATTIERI; BELLOMI, 2008; FERREIRA; SILVA; CAMPOS, 2011; ZHOU; PIZZI, 2014; DEMIRKIR *et al.*, 2016; WAY; KAMKE; SINHA, 2018). Já os MDPs são definidos como painéis constituídos de partículas de madeira e resina sob pressão e temperatura, a fim de consolidar o material (BERTOLINI *et al.*, 2014; FERRO *et al.*, 2014a; NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Na literatura, diversos estudos tratam da produção de painéis de madeira com resina poliuretana à base de óleo de mamona, que, em comparação com as resinas ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, demandam menor energia para cura e não liberam formaldeído, componente tóxico ao homem e ao meio ambiente (FERRO *et al.*, 2014a, 2014b, 2015, 2016, 2018; SILVA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2014).

Quanto aos painéis OSB com o uso de resina poliuretana à base de óleo de mamona, destacam-se as pesquisas de Souza *et al.* (2014), Ferro *et al.* (2015, 2016, 2018), Nascimento *et al.* (2015) e Barbirato *et al.* (2018). Já para painéis compensados feitos com resina poliuretana à base de óleo de mamona, tem-se apenas o trabalho de Dias e Lahr (2004), em que foram produzidos painéis compensados com lamelas de *Eucalyptus grandis* e resina poliuretana (gramatura de 250 g/m²), lâminas com umidade variando de 4 a 6%, pressão de colagem igual a 1,2 MPa a temperatura de 60 °C durante 10 minutos.

Sobre painéis MDP utilizando resina poliuretana à base de óleo de mamona, tem-se na literatura os estudos de Ferro *et al.* (2014a, 2014b), Silva *et al.* (2014), Bertolini *et al.* (2014) e Zau *et al.* (2014).

Levando-se em consideração que painéis OSB e compensados têm uso estrutural (DEMIRKIR *et al.*,

2016; ZHOU; PIZZI, 2014) e painéis de material particulado de madeira não atingem requisitos estruturais (SILVA *et al.*, 2014, 2018), uma alternativa a fim de aprimorar o uso de painéis de partículas de madeira para fins estruturais consiste na confecção de painéis híbridos, com as camadas externas sendo compostas de fibras de madeira, e na camada interna partículas de madeira, com as camadas unidas por adesivo.

Na literatura correlata, poucos trabalhos abordam a fabricação e a caracterização de painéis híbridos de madeira (NURHAZWANI *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018). Nurhazwani *et al.* (2016) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis compostos de partículas de *Hevea brasiliensis*, lâminas de bambu e resina ureia-formaldeído. Os painéis foram pré-prensados a frio a uma pressão de 3,5 MPa, posteriormente foi prensado a quente (160 °C) com pressão de 1,2 MPa. O teor de umidade das partículas foi igual a 12%, e o teor de resina foi igual a 65% em relação à massa sólida das partículas.

Silva *et al.* (2018) produziram painéis utilizando fibras de *Pinus taeda* e Malva e partículas de bagaço de cana-de-açúcar com o uso de resina poliuretana à base de óleo de mamona. O painel foi prensado a 100 °C e com pressão de 4 MPa, apresentando as partículas teor de umidade próximo de 12% (ABNT, 2013).

Com o intuito de contribuir para o uso de painéis de madeira na construção civil, esta pesquisa objetivou fabricar, caracterizar e avaliar o potencial de uso de painéis híbridos de lâminas e de partículas de *Pinus* sp. feitos com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, sendo os resultados das propriedades físicas e mecânicas comparados com os requisitos das normas DIN 68792 (DEUTSCHES..., 2016) e EN 300 (EUROPEAN..., 2006) e também com as propriedades de painéis comerciais OSB e compensado.

Materiais e métodos

Os painéis híbridos foram fabricados no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Os painéis da presente pesquisa foram compostos de lamelas (Figura 1a) e partículas de madeira de *Pinus* sp. (Figura 1b), ambas com teor de umidade entre 10% a 12%. As lamelas foram processadas nas dimensões 400 mm × 400 mm × 2 mm, com densidade aparente igual a 700 kg/m³, e a dimensão das partículas variaram entre 0,6 mm a 5,5 mm.

Em cada painel foram utilizadas duas lâminas de madeira de *Pinus* sp. com 2 mm de espessura cada uma, 360 g de partículas de madeira e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona com proporção igual a 14% em relação à massa seca das partículas. Para a resina, foi adotada a proporção 1:1 de polioli e pré-polímero (Figura 2), conforme estudo de Ferro *et al.* (2014a), e a gramatura da resina utilizada na união do núcleo de partículas com as lâminas de madeira foi igual a 340 g/m², gramatura essa 14% inferior à gramatura utilizada na pesquisa de Ferreira, Silva e Campos (2017).

A resina foi homogeneizada mecanicamente nas partículas, e após isso, a mistura foi uniformemente distribuída entre as lamelas de madeira. O conjunto foi levado inicialmente a um molde (Figura 3a) para uma pré-compactação (2 MPa) inicial.

Após a pré-prensagem, os painéis foram prensados a quente (Figura 3b) à temperatura de 100 °C com pressão de 4 MPa durante 10 minutos (SILVA *et al.*, 2018). Para estabilização e cura do adesivo, os painéis permaneceram durante 72 horas em processo de cura. Após a cura, os painéis foram esquadrejados (retirada de 1 cm de cada lado) e

devidamente acabados (Figura 3c), resultando nas dimensões finais 250 mm × 250 mm × 10 mm. Dos 10 mm de espessura, 4 mm resultaram da composição das duas lamelas de madeira (com 2 mm de espessura cada uma), ficando o núcleo (partículas) com espessura de 6 mm.

A resina foi homogeneizada mecanicamente nas partículas, e após isso, a mistura foi uniformemente distribuída entre as lamelas de madeira. O conjunto foi levado inicialmente a um molde (Figura 3a) para uma pré-compactação (2 MPa) inicial.

Após a pré-prensagem, os painéis foram prensados a quente (Figura 3b) à temperatura de 100 °C com pressão de 4 MPa durante 10 minutos (SILVA *et al.*, 2018). Para estabilização e cura do adesivo, os painéis permaneceram durante 72 horas em processo de cura. Após a cura, os painéis foram esquadrejados (retirada de 1 cm de cada lado) e devidamente acabados (Figura 3c), resultando nas dimensões finais 250 mm × 250 mm × 10 mm. Dos 10 mm de espessura, 4 mm resultaram da composição das duas lamelas de madeira (com 2 mm de espessura cada uma), ficando o núcleo (partículas) com espessura de 6 mm.

Figura 1 - Lamelas (a) e partículas (b) de madeira de *Pinus* sp.



Figura 2 - Pré-polímero (a) e polioli (b) à base de óleo de mamona

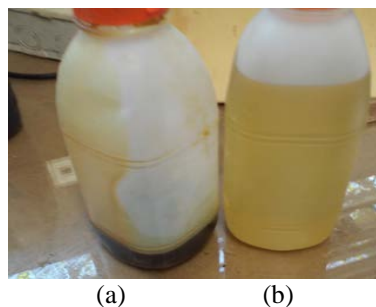
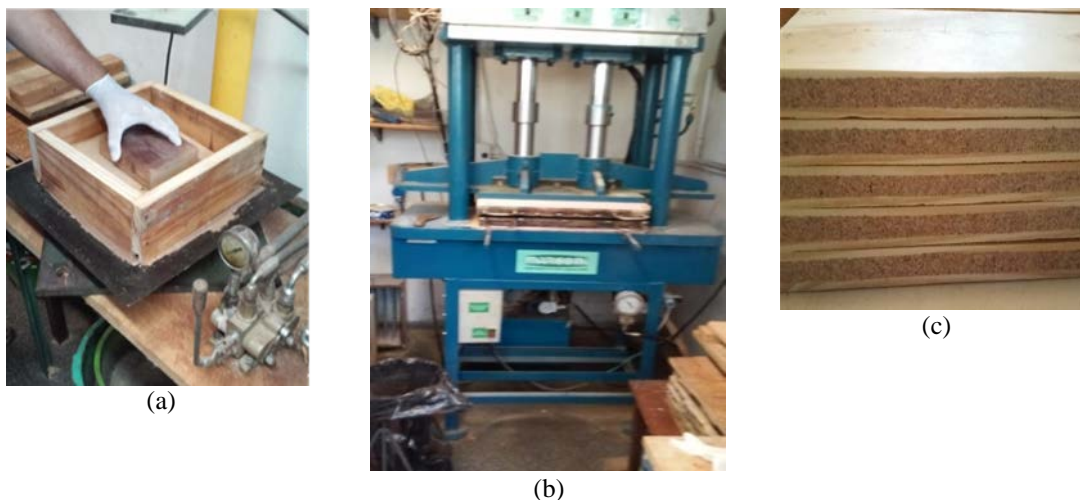


Figura 3 - Pré-prensagem (a), prensagem a quente; (b) painel esquadrejado após 72 horas de cura do adesivo



Na presente pesquisa foram produzidos 5 painéis, dos quais foram extraídos corpos de prova para avaliação das propriedades físicas, como densidade aparente, absorção de água e inchamento em espessura, e também foram avaliadas as propriedades mecânicas: módulo de resistência (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática. A densidade aparente foi avaliada conforme as premissas da norma europeia EN 323 (EUROPEAN..., 1993a). A absorção de água e o inchamento foram analisados conforme os requisitos normativos da norma europeia EN 317 (EUROPEAN..., 1993b). A avaliação do MOR e MOE seguiram os requisitos da norma europeia EN 310 (EUROPEAN..., 1993c).

Inicialmente foram produzidos os corpos de prova para avaliação do MOR e MOE na flexão estática, com dimensões 50 mm × 250 mm × 10 mm (5 amostras por painel), totalizando 25 corpos de prova. A partir desses foram extraídos os corpos de prova menores, com dimensões 50 mm × 50 mm × 10 mm para avaliação das propriedades físicas, resultando em 20 corpos de prova na determinação de cada propriedade física.

Dos painéis comerciais OSB e compensado utilizados, estes disponíveis no LaMEM, foram extraídos 5 corpos de prova para avaliação de cada propriedade, sendo cada corpo de prova proveniente de um painel distinto (5 painéis OSB e 5 painéis compensados). Os painéis compensados, de dimensões 2.200 mm × 1.600 mm × 8 mm, eram provenientes da empresa Ecoplac®, fabricados com madeira de pinus e resinas MR-Reutilizável e fenólica WBP (100% resistente à água), informações estas disponibilizadas pelo fabricante. Os painéis OSB foram fabricados pela empresa LP®, com dimensões 1.200 mm × 2.400 mm × 9,5

mm. Os corpos de prova foram extraídos de forma a não serem utilizadas as bordas do painel, a fim de não comprometer os resultados devido a umidade ou intempéries.

A influência dos tipos de painéis (OSB comercial [OSB]; compensado comercial [Comp]; painel híbrido fabricado – partículas/lâminas [Hib]) nas propriedades físicas e mecânicas de interesse foi investigada com o auxílio do teste de contraste de Tukey, considerado ao nível de 5% de significância (α).

Os testes de normalidade de Anderson Darling e de homogeneidade de variâncias de Bartlett foram utilizados na verificação das premissas do teste de Tukey. Pelas hipóteses formuladas em tais testes, P-valor (Probabilidade P) igual ou superior ao nível de significância (0,05) implica a normalidade e a homogeneidade de variâncias entre os grupos confrontados, o que valida os resultados do teste de Tukey.

Como comentado, as propriedades físicas avaliadas foram densidade aparente (ρ), absorção de água após 2 (Abs-2h) e 24 horas (Abs-24h) de imersão em água e inchamento em espessura após 2 (Inc-2h) e 24 horas (Inc-24h) de imersão, e as propriedades mecânicas avaliadas consistiram no módulo de elasticidade (MOE) e de resistência (MOR) na flexão estática.

Resultados e discussão

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os valores médios (\bar{x}), os coeficientes de variação (Cv), os menores (Min) e os maiores (Max) valores e o intervalo de confiança da média (IC - 95% de confiabilidade)

das propriedades físicas e mecânicas por tipo de painel avaliado.

A norma europeia EN 300 (EUROPEAN..., 2006) classifica os painéis OSB em quatro classes, de acordo com o uso desses painéis, bem como das condições de umidade e agressividade ambiental. Também estabelece requisitos mínimos de resistência (MOR) e rigidez (MOE) para cada classe (Tabela 4). A classe OSB1 é definida para painéis OSB com uso geral e interno, em condições sem umidade. A classe OSB2 é definida para painéis OSB sujeitos a ação de cargas em condições sem umidade. A classe OSB3 é definida para painéis sujeitos a carregamentos em condições sujeitas à umidade. A classe OSB4 é definida para painéis com uso estrutural sujeitos à umidade e em condições mais severas de agressividade ambiental.

Para painéis compensados, a norma alemã DIN 68792 (DEUTSCHES..., 2016) estabelece requisitos mínimos para resistência (MOR) e rigidez (MOE), também dispostos na Tabela 4.

Com base nos resultados das propriedades mecânicas avaliadas e dos requisitos normativos para painéis OSB e compensados dispostos na Tabela 4, pode-se constatar que os painéis híbridos atendem os requisitos para uso estrutural em condições de umidade, como ambientes externos (EUROPEAN..., 2006). Também cumpre os requisitos mínimos para painéis compensados, podendo assim ser uma alternativa ao uso dos painéis OSB e compensado comerciais para uso em ambientes externos e internos, incluindo o uso estrutural.

Cabe destacar que os resultados obtidos para os painéis híbridos se devem também pelo uso da resina poliuretana à base de mamona, que apresenta desempenho físico e mecânico superior aos adesivos comumente utilizados na fabricação de painéis em escala comercial, como é o caso da uréia-formaldeído, do fenol-formaldeído e da melamina-formaldeído (SOUZA *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis híbridos (Hib)

Estatísticas	ρ (kg/m ³)	Abs-2h (%)	Abs-24h (%)	Inc-2h (%)
\bar{x}	590,53	35,36	51,63	6,2396
Cv (%)	11,11	19,90	15,52	56,98
Min	485,53	27,86	37,57	0,35
Max	707,71	54,73	71,01	14,21
IC	564,81; 616,25	32,60; 38,12	48,49; 54,77	4,84; 7,63
Estatísticas	Inc-24h (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	
\bar{x}	8,80	48,17	7828	
Cv (%)	50,10	23,62	35,9	
Min	1,04	31,34	3776	
Max	17,86	77,70	14709	
IC	6,98; 10,62	43,47; 52,87	6668; 8988	

Tabela 2 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB

Estatísticas	ρ (kg/m ³)	Abs-2h (%)	Abs-24h (%)	Inc-2h (%)
\bar{x}	601,93	55,74	72,97	10,09
Cv (%)	10,30	18,09	16,23	63,28
Min	533,29	44,33	57,55	3,52
Max	673,47	67,21	86,46	18,45
IC	524,96; 678,90	43,23; 68,25	58,27; 86,00	2,17; 18,01
Estatísticas	Inc-24h (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	
\bar{x}	13,81	36,80	4863	
Cv (%)	29,08	16,23	32,48	
Min	10,39	31,63	4260	
Max	20,38	38,94	5179	
IC	8,81; 18,79	35,16; 38,76	4412; 5672	

Tabela 3 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados (Comp)

Estatísticas	ρ (kg/m³)	Abs-2h (%)	Abs-24h (%)	Inc-2h (%)
\bar{x}	566,66	46,34	67,67	12,93
Cv (%)	10,64	25,88	16,87	26,16
Min	498,04	25,97	49,51	9,32
Max	655,53	54,81	78,99	18,11
IC	491,81; 641,51	31,44; 61,23	53,50; 81,83	8,73; 17,13
Estatísticas	Inc-24h (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	
\bar{x}	14,75	32,86	4510	
Cv (%)	23,47	13,20	23,01	
Min	11,33	29,74	3545	
Max	19,80	34,22	5974	
IC	10,45; 19,04	30,25; 34,62	3222; 5798	

Tabela 4 - Requisitos mínimos de resistência e rigidez para painéis comerciais de OSB e compensado

Painéis comerciais	MOR (MPa)	MOE (MPa)
OSB1 (EUROPEAN..., 2006)	20	2500
OSB2 (EUROPEAN..., 2006)	22	3500
OSB3 (EUROPEAN..., 2006)	22	3500
OSB4 (EUROPEAN..., 2006)	30	4800
Compensado (DEUTSCHES..., 2016)	45	5000

Tabela 5 - Resultados da ANOVA de Kruskal-Wallis e do teste de comparações múltiplas de Student-Newman-Keuls das propriedades físicas e mecânicas avaliadas por tipo de painel

Propriedades	Teste de Tukey		
	Hib	OSB	Comp
ρ	A	A	A
Abs-2h	B	A	A
Abs-24h	B	A	A
Inc-2h	B	AB	A
Inc-24h	B	AB	A
MOR	A	B	B
MOE	A	B	B

Dos painéis compensados comerciais, esses não atingiram os requisitos de MOR e de MOE estabelecidos pela norma DIN 68792 (DEUTSCHES..., 2016), e com relação aos painéis OSB comerciais, esses são classificados como OSB4 pela norma EN300 (EUROPEAN..., 2006).

Levando-se em consideração os resultados da literatura para painéis compensados, Dias e Lahr (2004) encontraram valores de MOR e MOE de painéis fabricados com madeira de *Eucalyptus grandis* e resina poliuretana à base de óleo de mamona iguais a 87 MPa e 11.105 MPa, respectivamente, valores superiores aos encontrados para os painéis híbridos da presente pesquisa.

Já Ferreira, Silva e Campos (2017) produziram painéis compensados utilizando lamelas de pinus e resina fenol-formaldeído, com as lamelas a um teor de umidade de 3%, prensadas a quente à pressão de

1 MPa e temperatura de 180 °C, e gramatura do adesivo igual a 395 g/m². Os resultados do MOR e do MOE sem tratamento preservativo foram superiores aos resultados da presente pesquisa para painéis híbridos, com as diferenças iguais 24% e 13%.

Comparando-se os resultados da presente pesquisa em relação aos estudos da literatura sobre painéis OSB, o MOR e o MOE dos painéis da presente pesquisa foram superiores ao MOR (43%) e ao MOE (56%) encontrados por Carvalho et al. (2014), os quais produziram painéis OSB com partículas de pinus e resina ureia-formaldeído, teor de adesivo igual a 8% em relação à massa seca das partículas, prensado a quente a 160 °C e pressão igual a 4 MPa.

Souza *et al.* (2014) avaliaram as propriedades mecânicas de painéis OSB utilizando partículas de pinus e resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona, com teor de adesivo igual a 12%,

prensados a 100 °C e com pressão de 4,5 MPa. Comparando-se os valores médios de MOR dos painéis híbridos desta pesquisa com os valores obtidos por Souza *et al.* (2014), os painéis OSB apresentaram MOR superior ao MOR obtido dos painéis híbridos, com uma diferença de 16%. Para o MOE, a diferença foi de 4%.

Em relação ao estudo de Gorski, Bayestorff e Rios (2015), em que foram produzidos painéis OSB com partículas de pinus e resina fenol-formaldeído, com pressão de 3,9 MPa, temperatura de prensagem de 180 °C e teor de adesivo de 6% em relação à massa seca das partículas, o MOR e o MOE dos painéis híbridos deste trabalho foi 30% e 36% superior à média do MOR e do MOE dos painéis OSB com resina fenol-formaldeído.

Nurhazwani *et al.* (2016) encontraram valores médios do MOR e do MOE para painéis híbridos de bambu e seringueira iguais a 15,3 MPa e 2.650 MPa, respectivamente, valores muito inferiores aos encontrados para os painéis híbridos da presente pesquisa.

Silva *et al.* (2018) obtiveram valores médios de 11 MPa para o MOR e de 1.089 MPa para o MOE de painéis híbridos feitos com bagaço de cana e fibras de Pinus taeda, valores significativamente inferiores aos encontrados para os painéis híbridos da presente pesquisa.

A Tabela 5 apresenta os resultados do teste de Tukey do fator tipo de painel para cada propriedade física e mecânica investigada. Do teste de Tukey, A denota o grupo de maior valor médio, B o de segundo maior valor médio, e assim sucessivamente. Letras maiúsculas iguais implicam tratamentos com médias equivalentes.

Os P-valores dos testes de normalidade de Anderson Darling e de homogeneidade de variâncias de Bartlett para as propriedades físicas e mecânicas variaram nos intervalos (0,098; 0,723) e (0,124; 0,572), respectivamente, o que valida os resultados obtidos do teste de Tukey (P-valor \geq 0,05).

Da Tabela 5 nota-se que os painéis apresentaram densidades aparentes equivalentes, que os menores valores da absorção (2 e 24 horas) e do inchamento em espessura (2 e 24 horas) foram provenientes dos painéis híbridos aqui fabricados, e os maiores valores foram oriundos dos dois demais tipos de painéis investigados (comerciais), que exibiram comportamentos equivalentes quanto às propriedades físicas.

Das propriedades mecânicas, os maiores valores do MOE e do MOR foram provenientes dos painéis híbridos aqui desenvolvidos, seguidos pelos painéis comerciais (OSB e compensado), que apresentaram

desempenhos equivalentes nessas duas propriedades.

O MOE dos painéis híbridos foi 73% superior ao MOE dos painéis compensados comerciais, e 61% superior ao MOE dos painéis OSB comerciais. O MOR dos painéis híbridos foram 47% e 31% superior ao MOR dos painéis compensado e OSB, respectivamente, evidenciando a potencialidade de uso dos painéis híbridos para fins estruturais.

Conclusões

Os resultados obtidos da presente pesquisa permitem concluir que:

- (a) os painéis híbridos atenderam aos requisitos dos documentos normativos EN 300 e DIN 68792, normas regentes de painéis OSB e compensado, respectivamente, podendo ser utilizados como alternativas ao uso de painéis compensado e OSB comerciais;
- (b) os painéis híbridos podem ser utilizados para fins estruturais; e
- (c) fica evidenciada a superioridade dos painéis híbridos aqui fabricados frente aos painéis comerciais OSB e compensado, tanto nas propriedades físicas quanto nas propriedades mecânicas. Em parte, tal desempenho se justifica pelo uso do adesivo à base de óleo de mamona.

Pelo exposto, constata-se que os painéis híbridos fabricados nesta pesquisa apresentam grande potencial de uso nas construções, fornecendo propriedades físicas e mecânicas com desempenho superior aos painéis comerciais OSB e compensado aqui analisados. Para resultados mais abrangentes, demanda-se maior número de ensaios, bem como comparar as propriedades do painel híbrido com outros painéis comerciais de OSB e madeira compensada.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada: parte 2. Rio de Janeiro, 2013.
- BARBIRATO, G. H. A. *et al.* OSB Panels With Balsa Wood Waste and Castor Oil Polyurethane Resin. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-9, 2018.
- BERTOLINI, M. S. *et al.* Painéis de Partículas Provenientes de Rejeitos de Pinus sp. Tratado Com Preservante CCA e Resina Derivada de Biomassa. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 339-346, 2014.

- CARVALHO, A. G. *et al.* Use of Tannin Adhesive From *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville in the Production of OSB Panels. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 72, n. 4, p. 425-432, 2014.
- CHIROMITO, E. M. S. *et al.* Propriedades Mecânicas de Painéis Produzidos Com Lascas de Madeira em Três Diferentes Comprimentos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 109, p. 175-180, 2016.
- DEMIRKIR, C. *et al.* Influence of Aging Procedure on Bonding Strength and Thermal Conductivity of Plywood Panels. **Acta Physica Polonica A**, v. 129, n. 6, p. 1.230-1.234, 2016.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 68792**: large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete. Berlin, 2016.
- DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative Castor Oil-Based Polyurethane Adhesive Used in the Production of Plywood. **Materials Research**, v. 7, n. 3, p. 413-420, 2004.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 300**: Oriented Strand Boards (OSB): definitions, classification and specifications. Portugal, 2006.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: wood-based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas, 1993c.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**: particleboards and fiberboards: determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993b.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323**: wood-based panels: determination of density. Bruxelas, 1993a.
- FERREIRA, B. S.; SILVA, J. V. F.; CAMPOS, C. I. de. Static Bending Strength of Heat-Treated and Chromated Copper Arsenate-Treated Plywood. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 6276-6282, 2017.
- FERREIRA, B. S.; SILVA, M. S.; CAMPOS, C. I. Análise do Desempenho Físico-Mecânico de Compensados Produzidos Com Adesivos à Base de PVA. **Madeira: Arquitetura & Engenharia**, v. 12, n. 19, p. 13-22, 2011.
- FERRO, F. S. *et al.* Effect of Alternative Wood Species and First Thinning Wood on Oriented Strand Board Performance. **Advances in Materials Science and Engineering**, 2018.
- FERRO, F. S. *et al.* Influence of Proportion Polyol/Pre-Polymer Castor-Oil Resin Components in Static Bending Properties of Particleboards Produced With *Pinus* sp. **Advanced Materials Research**, v. 884-885, p. 667-670, 2014a.
- FERRO, F. S. *et al.* Mechanical Properties of Particleboards Manufactured With *Schizobium amazonicum* and Castor oil Based Polyurethane Resin: Influence of Proportion Polyol/Pre-Polymer. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n. 2, p. 52-55, 2014b.
- FERRO, F. S. *et al.* Physical Properties of OSB Panels Manufactured With CCA and CCB Treated *Schizobium amazonicum* and Bonded with Castor Oil Based Polyurethane Resin. **International Journal of Materials Engineering**, v. 6, n. 5, p. 151-154, 2016.
- FERRO, F. S. *et al.* Produção de Painéis de Partículas Orientadas (OSB) Com *Schizobium Amazonicum* e Resina Poliuretana à Base de Óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 313-320, 2015.
- GILBERT, B. P. *et al.* Mechanical Properties of Rotary Veneers Recovered from Early to Midrotation Subtropical-Hardwood Plantation Logs for Veneer-Based Composite Applications. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 10, p. 04017194, 2017.
- GORSKI, L.; BAYESTORFF, A.; RIOS, P. D. A. Production of Oriented Strand Board (OSB) From *Eucalyptus benthamii* and *Pinus* spp Wood at Different lay. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 367-375, 2015.
- NASCIMENTO, M. F. *et al.* Painéis de Partículas Homogêneas Fabricados Com Resíduos Lignocelulósicos e Resina Alternativa Para Aplicação em Pisos. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 112, p. 1.001-1.007, 2016.
- NASCIMENTO, M. F. *et al.* Painéis OSB Fabricados Com Madeiras da Caatinga do Nordeste do Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 41-48, jan./mar. 2015.
- NURHAZWANI, O. *et al.* Hybrid Particleboard Made From Bamboo (*Dendrocalamus asper*) Veneer Waste and Rubberwood (*Hevea brasiliensis*). **BioResources**, v. 11, n. 1, p. 306-323, 2016.
- REGATTIERI, A.; BELLOMI, G. Innovative Lay-Up System in Plywood Manufacturing Process. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 67, n. 1, p. 55-62, 2008.

SEMPLE, K. E.; ZHANG, P. K.; SMITH, G. D. Hybrid Oriented Strand Boards Made From Moso Bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and Aspen (*Populus tremuloides* Michx.): species-separated three-layer boards. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, n. 4, p. 527-536, 2015.

SILVA, M. R. *et al.* Hybrid Sandwich Particleboard Made With Sugarcane, *Pinus Taeda* Thermally Treated and Malva Fibre from Amazon. **Materials Research**, v. 21, n. 1, p. 7, 2018.

SILVA, S. A. M. *et al.* Medium Density Particleboard (MDF) Produced With *Pinus caribaea* Fibers and Castor Oil Based Polyurethane Resin. **Advanced Materials Research**, v. 1.025-1.026, p. 13-16, 2014.

SOUZA, A. M. *et al.* Mechanical Properties of OSB Wood Composites with Resin Derived From a Renewable Natural Resource. **International Journal of Composite Materials**, v. 4, n. 3, p. 157-161, 2014.

WAY, D.; KAMKE, F. A.; SINHA, A. Influence of Specimen Size During Accelerated Weathering of wood-Based Structural Panels. **Wood Material Science & Engineering**, p. 1-13, 2018.

ZAU, M. D. L. *et al.* Avaliação das Propriedades Química, Física e Mecânica de Painéis Aglomerados Produzidos Com Resíduo de Madeira da Amazônia - *Cumarú* (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.

ZHOU, X.; PIZZI, A. Pine Tannin Based Adhesive Mixes For Plywood. **International Wood Products Journal**, v. 5, n. 1, p. 27-32, 2014.

Laurenn Borges de Macedo

Escola de Engenharia de São Carlos | Universidade de São Paulo | Av. Trabalhador Saocarlense, 400, Parque Arnold Schimit | São Carlos - SP - Brasil | CEP 13566-590 | Tel.: (16) 3373-9369 | E-mail: laurenmacedo@hotmail.com

Vinicius Borges de Moura Aquino

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | Rodovia Washington Luís, km 235, SP-310 | São Carlos - SP - Brasil | CEP 36307-352 | Tel.: (16) 3351-8262 | E-mail: aquino.vini@hotmail.com

Anderson Renato Vobornik Wolenski

Departamento de Engenharia Civil | Instituto Federal de Santa Catarina | Rua Aloísio Stoffel, 1271, Jardim Alvorada | São Carlos - SC - Brasil | CEP 89885-000 | Tel.: (49) 3325-4149 | E-mail: andersonwolenski@gmail.com

André Luis Christoforo

Departamento de Engenharia Civil | Universidade Federal de São Carlos | E-mail: christoforoal@yahoo.com.br

Francisco Antonio Rocco Lahr

Escola de Engenharia de São Carlos | Universidade de São Paulo | Tel.: (16) 3373-8206 | E-mail: frocco@sc.usp.br

Revista Ambiente Construído

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

Fax: +55 (51) 3308-4054

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



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