

Propriedades de painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Ligustrum lucidum* e *Pinus taeda*

Pâmela Caroline Lau Sozim^{1*}, Lygia Maria Napoli¹, Fabiane Salles Ferro¹, Erick Chagas Mustefaga¹, Éverton Hillig¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR 153, Km 7, Riozinho, CEP 84500-000, Irati, PR, Brasil

*Autor correspondente:
pamela.lau@hotmail.com

Termos para indexação:

Alfeneiro do Japão
Propriedades da madeira
Chapas de madeira

Index terms:

Broad-leaf privet
Wood properties
Wood panels

Histórico do artigo:

Recebido em 14/08/2018
Aceito em 22/02/2019
Publicado em 10/05/2019

doi: 10.4336/2019.pfb.39e201801696

Resumo - Este trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com madeira de *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton, pura ou com *Pinus taeda*, e comparar as propriedades desses painéis com os requisitos normativos e com os produzidos somente com *Pinus taeda*. Os painéis foram produzidos com adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído na proporção de 10% de massa de sólido sobre a massa seca de partículas. Para a confecção dos painéis, foi estabelecida massa específica nominal de 0,75 g cm⁻³, pressão específica de 3,92 MPa, temperatura de 160 °C e tempo de prensagem de 8 min para o adesivo uréia-formaldeído e 10 min para tanino-formaldeído. Após o período de climatização dos painéis, foram confeccionados os corpos de prova destinados aos ensaios físicos e mecânicos. Verificou-se que apenas madeira de *Ligustrum lucidum* com adesivo tanino-formaldeído, bem como a combinação de madeiras e adesivo uréia-formaldeído, proporcionou aos painéis melhores propriedades físicas e mecânicas. Esses tipos de painéis atenderam aos requisitos normativos de propriedades mecânicas e demonstraram que *L. lucidum* tem potencial para uso na produção de painéis aglomerados.

Properties of particleboard made with *Ligustrum lucidum* and *Pinus taeda* woods

Abstract - This study aimed to evaluate physical and mechanical properties of particleboard manufactured with *Ligustrum lucidum* wood, pure or with *Pinus taeda*, and to compare these panels properties with the normative requirements and those panels produced only with *Pinus taeda*. Panels were produced with urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde resins, in 10% of proportion based on solid mass of dried particles. For the panels preparation, it was established nominal specific mass of 0.75 g.cm⁻³, specific pressure of 3.92 MPa, temperature of 160 °C and pressing time of 8 min for urea-formaldehyde resin and 10 min for tannin-formaldehyde. After the air conditioning period, samples for physical and mechanical tests were prepared. The use of only *Ligustrum lucidum* wood and tannin-formaldehyde, as well as the use of mixture woods and urea-formaldehyde provided panels better performance in relation to physical and mechanical properties. These panels reached mechanical properties requirements of normative codes and demonstrated the potential of *L. lucidum* for particleboard production.



Trabalho apresentado no V Seminário de Atualização Florestal, 24 e 28 de setembro de 2018, Irati, PR.

Introdução

Em 2016, o Brasil totalizou a produção de 7,3 milhões de m³ de painéis reconstituídos, sendo três milhões de painéis aglomerados, produzidos principalmente na região Sul do país e nos Estados de São Paulo e Minas Gerais (Indústria Brasileira de Árvores, 2017).

A confecção dos painéis aglomerados é sustentada por matéria-prima proveniente de reflorestamentos de *Pinus* spp. e, em menor escala, de *Eucalyptus* spp. Porém, pesquisas mostram a viabilidade técnica de produção de painéis aglomerados com espécies nativas e exóticas, de baixa e alta massa específica, pura ou em mistura com as espécies tradicionalmente já utilizadas, com desempenho físico-mecânico que atendem aos requisitos da norma brasileira NBR14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013). Além disso, para madeiras de alta massa específica, sua mistura com madeiras de baixa massa específica tem demonstrado vantagens, pois permite a produção de painéis menos densos e com propriedades mecânicas satisfatórias (Iwakiri et al., 2010; Trianoski et al., 2011; Sanches et al., 2016). Moslemi (1974) afirma que as espécies com massa específica de até 0,55 g cm⁻³ são as mais adequadas para a produção de painéis aglomerados, pois proporcionam painéis mais leves, com taxa de compactação adequada.

Bianche et al. (2012) destacam que a utilização de madeira de outras espécies na composição dos painéis aglomerados é uma alternativa que pode proporcionar menor custo e uma produção sustentável, mas o uso intensificado da madeira como matéria-prima para fins industriais ou construtivos só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades, sejam elas físicas, químicas ou mecânicas (Gonçalves et al., 2009).

Ligustrum lucidum, popularmente conhecida como alfeneiro ou ligustro, é uma espécie exótica originária da China, que foi muito utilizada em arborização urbana no Brasil, sendo hoje considerada uma espécie invasora (Emer et al., 2013). A espécie apresenta quantidade considerável de indivíduos no dossel da Floresta Ombrófila Mista, onde seu incremento é maior que de algumas espécies nativas, conforme relatado por Kanieski et al. (2017).

É uma espécie de rápido crescimento, que atinge cerca de 10 m de altura, podendo ser cultivada em todo território brasileiro, pois se desenvolve em vários tipos de solo e diferentes regimes de temperatura e umidade, além de apresentar tolerância à sombra e ser resistente à poda rústica (Lorenzi et al., 2003; Ditomaso et al., 2013).

Pouco se conhece sobre as propriedades e as características da madeira dessa espécie. Vale et al. (2005) obtiveram 0,56 g cm⁻³ de massa específica básica para galhos de *Ligustrum lucidum* provenientes da poda urbana em Brasília, DF. Esses autores também realizaram a análise imediata e a carbonização da madeira, concluindo que os galhos desta espécie apresentam características favoráveis tanto para o uso como lenha, quanto para a produção de carvão vegetal. Todavia, destaca-se que a utilização desta espécie para produção de painéis aglomerados ainda não foi investigada.

Segundo Johnson (2009), *L. lucidum* foi muito plantada na Austrália para arborização urbana, como cerca-viva ou para fazer sombra, tornando-se posteriormente uma espécie exótica invasora, semelhante ao que ocorreu no Brasil. O autor destaca ainda que as espécies de *Ligustrum* invadem muitos ecossistemas naturais, alterando a diversidade e abundância de espécies nativas, de plantas ou animais.

Para se controlar e corrigir os equívocos decorrentes da introdução de uma espécie exótica numa região é importante que se conheça as características dessa espécie, bem como de seu potencial de utilização. Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho físico-mecânico de painéis aglomerados produzidos com madeira das espécies *Ligustrum lucidum* W.T. Aiton e *Pinus taeda* L., usadas puras e misturadas.

Material e métodos

Para a confecção dos painéis, utilizou-se madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum*, obtidas de três árvores de cada espécie, colhidas ao acaso na região de Irati, PR. Das árvores, foram retirados toras e discos. Com os discos se determinou a massa específica aparente, com base na norma NBR11941 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003). As toras foram desdobradas em tábuas e posteriormente foram processadas em plaina desempenadeira, para a obtenção de partículas do tipo *flake*. Essas partículas foram moídas em moinho de martelos, para obtenção de partículas tipo *sliver*, usadas para produção dos painéis aglomerados. As partículas passaram por peneiras de 6 e 12 mesh e foram encaminhadas à estufa com ventilação forçada, a 60 °C, onde permaneceram até atingirem cerca de 3% de umidade (base seca), valor recomendado pelos fabricantes do adesivo para a adequada adesão entre as partículas.

Os painéis foram produzidos utilizando partículas de madeira de *P. taeda* (Pt) e *L. lucidum* (Ll), puras e em mistura, nas quais foi adicionado o adesivo uréia-formaldeído (UF) ou tanino-formaldeído (TF) (Tabela 1), na proporção de 10% de massa de sólido do adesivo sobre a massa seca de partículas, configurando um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com seis tratamentos e duas repetições por tratamento, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 1. Características dos adesivos usados para a fabricação de painéis aglomerados com madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum*.

Table 1. Characteristics of the adhesives used for the manufacture of particleboard with wood of *Pinus taeda* and *Ligustrum lucidum*.

Característica	Adesivo	
	Uréia-formaldeído ¹	Tanino-formaldeído ²
Matéria-prima	Petróleo	<i>Acacia mearnsii</i> De Wild.
Cor	Leitosa-branca	Marrom-escuro
pH	7,6 – 8,2	6,6 – 6,9
Viscosidade (cP)	300 - 400	100 – 200*
Teor de sólidos (%)	68	45

Nota: *Viscosidade para o teor de sólidos utilizado de 45%. Fonte: ¹Momentive Química do Brasil (2012); ²Tanac & Phenotan (2014).

Tabela 2. Delineamento experimental usado para a avaliação de painéis aglomerados com madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum*.

Table 2. Experimental design for the evaluation of particleboard with wood of *Pinus taeda* and *Ligustrum lucidum*.

Tratamento	Adesivo	Proporção de partículas (%)	
		<i>P. taeda</i>	<i>L. lucidum</i>
1	Uréia-formaldeído	100	---
2	Uréia-formaldeído	---	100
3	Uréia-formaldeído	50	50
4	Tanino-formaldeído	100	---
5	Tanino-formaldeído	---	100
6	Tanino-formaldeído	50	50

Para a confecção dos painéis, foi estabelecida massa específica nominal de 0,75 g cm⁻³, pressão específica de 3,92 MPa, temperatura de 160 °C e tempo de prensagem de 8 min para o adesivo uréia-formaldeído e 10 min para tanino-formaldeído.

Após a prensagem, os painéis permaneceram em câmara climatizada com umidade relativa de 65 ± 5% e temperatura de 20 ± 3 °C, até atingirem umidade de equilíbrio higroscópico. Ao término deste período, foram produzidos corpos de prova destinados aos ensaios físicos e mecânicos (Tabela 3), conforme as recomendações da norma ASTM D 1037–06a (American Society for Testing and Materials, 2006), bem como a razão de compactação resultante (Maloney, 1993). Foram também determinadas a massa específica aparente e a umidade médias da madeira, de 16 cunhas com ângulo de 30° amostradas para cada espécie, de acordo com a norma NBR7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997).

Tabela 3. Ensaios físicos e mecânicos dos painéis aglomerados.

Table 3. Physical and mechanical tests of particleboard.

Ensaio	Dimensões (cm)	Número de corpos de prova por tratamento
Massa específica aparente	5 x 5 x 1,3	6
Teor de umidade	5 x 5 x 1,3	6
Absorção de água (períodos de 2 e 24 h de imersão em água)	15 x 15 x 1,3	6
Inchamento em espessura (períodos de 2 e 24 h de imersão em água),	15 x 15 x 1,3	6
Flexão estática (módulos de elasticidade e de ruptura)	36,3 x 7,6 x 1,3	6
Tração perpendicular à superfície do painel	5 x 5 x 1,3	6
Arrancamento de parafuso de superfície	10,2 x 7,6 x 2,6	6
Arrancamento de parafuso de topo	15,2 x 7,6 x 1,3	6

A análise estatística, em esquema fatorial, foi efetuada para verificar a influência do fator adesivo e do fator espécie. A normalidade dos dados foi analisada pelo teste de *Kolmogorov Smirnov* e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett. Quando comprovada a homogeneidade das variâncias, foi feita análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas por meio do teste de Tukey, nos casos de rejeição da hipótese de igualdade pela ANOVA. Quando necessário, foi realizada a transformação Box-Cox dos dados. As análises estatísticas foram efetuadas ao nível de 5% de probabilidade.

Para análise da interação entre fatores e para comparação com os requisitos normativos, foram determinados os valores médios de cada propriedade

por tipo de painel, que foram comparados aos requisitos das normas EN312 (European Committee for Standardization, 2003) e NBR14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006, 2013).

Resultados

A massa específica aparente da madeira de *Ligustrum lucidum* foi aproximadamente o dobro do valor da madeira de *Pinus taeda*, apesar da umidade de equilíbrio menor. Os valores médios de massa específica dos painéis alcançaram o valor nominal somente para os produzidos com a mistura das espécies e com adesivo de uréia-formaldeído, mas não apresentaram diferença estatística dos demais tipos de painéis. A umidade

de equilíbrio dos painéis também foi semelhante. A utilização da madeira pura de *L. lucidum*, ou em mistura com *P. taeda*, levou à redução da razão de compactação dos painéis (Tabela 4).

Os valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis variaram entre as espécies para inchamento em espessura, módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, arrancamento de parafuso no topo e ligação interna. Para o fator adesivo, houve diferença somente para inchamento em espessura, MOR e MOE em flexão estática e ligação interna. A interação entre esses dois fatores foi significativa para inchamento por 24 h, MOR, MOE, arrancamento de parafuso na superfície e no topo e ligação interna (Tabela 5).

Tabela 4. Propriedades físicas da madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum* e dos painéis aglomerados produzidos com as duas espécies e com os adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído.

Table 4. Physical properties of *Pinus taeda* and *Ligustrum lucidum* wood and of particleboard manufactured with two species and urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde adhesives.

Painel	Ad	Proporção de partículas (%)*		Massa específica da madeira (g cm ⁻³)	Umidade da madeira (%)	Massa específica dos painéis (g cm ⁻³)	Umidade dos painéis (%)	Razão de compactação dos painéis
		Pt	Ll					
1	UF	100	---	0,38	16,6	0,70 a	11,3 a	1,84 a
2	UF	---	100	0,74	15,0	0,73 a	10,0 a	0,99 d
3	UF	50	50	0,56	15,8	0,75 a	10,6 a	1,34 b
4	TF	100	---	0,38	16,6	0,70 a	9,0 a	1,84 a
5	TF	---	100	0,74	15,0	0,70 a	9,6 a	0,95 d
6	TF	50	50	0,56	15,8	0,66 a	9,6 a	1,18 c

Notas: Ad - Adesivo; *com base na massa seca; UF - uréia-formaldeído; TF - tanino-formaldeído; Pt - *Pinus taeda*; Ll - *Ligustrum lucidum*.

Tabela 5. Valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum* e com os adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído, para os fatores tipo de adesivo e espécie de madeira.

Table 5. Mean values of physical and mechanical properties of the particleboard manufactured with *Pinus taeda* and *Ligustrum lucidum* wood and urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde adhesives, for factors adhesive type and wood species.

Fator / Nível		Absorção de água		Inchamento em espessura		Flexão estática		Arrancamento de parafuso		Ligação interna
		2 h (%)	24 h (%)	2 h (%)	24 h (%)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Rsup (MPa)	Rtop (MPa)	RTper (MPa)
Ad	UF	9,92a	80,60a	6,34b	23,22b	19,25a	2,85a	1079,71a	978,33a	0,64a
	TF	10,09a	86,50a	12,15a	34,79a	16,23b	2,59b	1040,46a	967,11a	0,49b
Es	Pt	8,20a	89,44a	10,79a	38,14a	11,72c	1,74c	1076,96ab	901,63a	0,45b
	Ll	11,82a	83,14a	6,84b	16,73b	27,36a	3,89a	1006,93b	1044,62a	0,63a
	Pt+Ll	10,00a	78,07a	10,11ab	32,14a	14,14b	2,53b	1246,37a	971,91a	0,61a
Interação		0,16 ^{ns}	1,52 ^{ns}	0,06 ^{ns}	4,34*	76,88*	129,90*	47,37*	7,51*	370,60*

Notas: Ad - adesivo; Es - espécie; UF - uréia-formaldeído; TF - tanino-formaldeído; Pt - *Pinus taeda*; Ll - *Ligustrum lucidum*; MOR - módulo de ruptura; MOE - módulo de elasticidade; Rsup - resistência ao arrancamento de parafuso de superfície; Rtop - resistência ao arrancamento de parafuso de topo; RTper - resistência à tração perpendicular à superfície do painel. Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns} = não significativo; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios verificados por tipo de painel produzido. Esses valores foram utilizados para análise da interação entre os

fatores, quando essa foi significativa, e também para comparação das propriedades dos painéis com os requisitos normativos.

Tabela 6. Valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com madeira de *Pinus taeda* e *Ligustrum lucidum* e com os adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído.

Table 6. Mean values of physical and mechanical properties of the particleboard manufactured with *Pinus taeda* and *Ligustrum lucidum* wood and urea-formaldehyde and tannin-formaldehyde adhesives.

P	Es	Ad	Absorção de água		Inchamento em espessura		Flexão Estática		Arrancamento de parafuso		Ligação interna
			2 h (%)	24 h (%)	2 h (%)	24 h (%)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Rsup (MPa)	Rtop (MPa)	RTper (MPa)
1	Pt	UF	8,75a	90,02a	7,21a	31,47ab	7,58e	0,87e	1109,12b	873,01ab	0,65b
2	LI	UF	11,61a	82,34a	5,40a	19,16b	30,49a	4,41a	539,80c	899,20ab	0,43c
3	Pt+LI	UF	9,41a	69,45a	6,41a	19,03b	19,69c	3,27b	1590,21a	1162,79ab	0,84a
4	Pt	TF	7,65a	88,86a	14,36a	44,81a	15,86d	2,62c	895,54b	930,26ab	0,25d
5	LI	TF	12,04a	83,95a	8,27a	14,31b	24,24b	3,37b	1474,06a	1190,05a	0,84a
6	Pt+LI	TF	10,59a	86,69a	13,82a	45,25a	8,59e	1,79d	902,52b	781,03b	0,38c

Notas: P - Painel; Ad - adesivo; Es - espécie; UF - uréia-formaldeído; TF - tanino-formaldeído; Pt - *Pinus taeda*; LI - *Ligustrum lucidum*; MOR - módulo de ruptura; MOE - módulo de elasticidade; Rsup - resistência ao arrancamento de parafuso de superfície; Rtop - resistência ao arrancamento de parafuso de topo; RTper - resistência à tração perpendicular à superfície do painel. Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Discussão

A busca por matéria-prima alternativa para a produção de painéis aglomerados, madeira de espécies de rápido crescimento e competitiva tem sido relatada na literatura. Sanches et al. (2016) concluíram que *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis* (massa específica de 0,59 e 0,58 g cm⁻³, respectivamente) ainda não são utilizadas em escala industrial, porém, foram consideradas adequadas para a fabricação de painéis aglomerados quando em misturas com espécies de menor massa específica. A madeira de *Ligustrum lucidum* apresentou massa específica aparente de 0,74 g cm⁻³ (Tabela 4), sendo esta superior a 0,55 g cm⁻³ recomendado por Moslemi (1974), com o intuito de se obter painéis com boa razão de compactação e peso apropriado. De modo geral, o aumento na razão de compactação dos painéis causa aumento de sua resistência e rigidez (Trianoski et al., 2013). No entanto, essas propriedades dependem também da massa específica da madeira e de outros fatores.

Todos os painéis confeccionados (Tabela 4) classificam-se como de média massa específica, de acordo com a norma CS 236-66 (Commercial Standard, 1968). Para a variável massa específica aparente dos painéis, os valores médios foram estatisticamente semelhantes entre si e inferiores à massa específica

nominal estabelecida em 0,75 g cm⁻³, com exceção dos painéis de uréia-formaldeído e a mistura de espécies. Isso foi atribuído à perda de material durante a formação do painel e retorno em espessura após a prensagem (Trianoski et al., 2013).

As médias de absorção de água obtidas para os painéis confeccionados com tanino-formaldeído foram equivalentes às dos painéis de uréia-formaldeído, porém, foram maiores para inchamento em espessura 2 h e 24 h (Tabela 5). Como nesse caso está se avaliando somente o fator adesivo, atribuiu-se maior inchamento dos painéis de tanino-formaldeído aos menores valores obtidos para esse adesivo na resistência à tração perpendicular (ligação interna). Carneiro et al. (2009) obtiveram resultados semelhantes para a propriedade inchamento em espessura quando produziram painéis aglomerados utilizando a madeira de *Pinus elliottii* e os adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído obtido de *Anadenanthera peregrina*, ambos na proporção de 8%.

Não foi observada diferença de absorção de água entre os diferentes tipos de painéis produzidos em função da composição de espécies (Tabela 5). No entanto, os painéis fabricados com madeira de *L. lucidum* apresentaram menores valores de inchamento em espessura após períodos de 2 e 24 h de imersão em água. Nesse caso, a menor taxa de compactação dos painéis produzidos

com madeira de *L. lucidum* é que ocasionou menor inchamento em espessura.

Verificou-se que a diferença de inchamento em espessura após 24 h de imersão entre os painéis produzidos com as diferentes espécies de madeira foi maior para o adesivo tanino-formaldeído (Tabela 6), fato relacionado à maior diferença de ligação interna que ocorreu entre as espécies com esse adesivo. Além da relação entre as duas propriedades, os resultados podem diferir, em função da espécie utilizada. A relação entre a ligação interna e o inchamento em espessura também foi verificada por Carvalho et al. (2014) que obtiveram menores valores de ligação interna e maior inchamento em espessura para painéis confeccionados com madeira de *Pinus caribaea* e adesivo tanino-formaldeído obtido de acácia negra do que para os painéis colados com uréia-formaldeído. Por outro lado, Melo et al. (2010) verificaram maiores valores de ligação interna e menores valores de inchamento em espessura para o adesivo tanino-formaldeído do que para o adesivo de uréia, quando utilizaram madeira de *Eucalyptus grandis*.

De acordo com Moslemi (1974), os painéis com maior razão de compactação apresentam maior inchamento em espessura, devido à maior liberação das tensões de compressão resultantes da prensagem. Fato este observado para os painéis confeccionados com a madeira de *P. taeda* com ambos os adesivos (Tabela 6).

A norma EN 312 (European Committee for Standardization, 2003) determina até 8% de absorção de água após 2 h de imersão e as normas NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) e CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) especificam 18% e 35% de inchamento em espessura após 24 h de imersão, respectivamente. Os valores médios obtidos para estas propriedades somente atenderam esses requisitos para os painéis de *P. taeda* e tanino-formaldeído quanto à absorção de água por 2 h, e para inchamento em espessura após 24 h de imersão. Todos os tratamentos produzidos com o adesivo uréia-formaldeído e os painéis de *L. lucidum* e tanino-formaldeído atenderam à norma CS 236-66 (Commercial Standard, 1968), mas apenas o tratamento composto por *L. lucidum* e tanino-formaldeído alcançou o valor mínimo requerido pela norma NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013). Os valores de absorção de água por 2 h de imersão dos outros tipos de painéis foram semelhantes estatisticamente. Para inchamento em espessura por 24 h de imersão, os painéis produzidos com *L. lucidum* e com

a mistura de espécies, colados com uréia-formaldeído também apresentaram resultados semelhantes (Tabela 6). Napoli et al. (2013) verificaram que a composição dos painéis de *Pinus taeda* colados com uréia-formaldeído em três camadas diminuiu o inchamento em espessura em relação aos painéis homogêneos. Dessa forma, pressupõe-se melhor desempenho em inchamento dos painéis em três camadas, que são produzidos em escala industrial, do que os painéis homogêneos produzidos neste estudo.

Para as propriedades mecânicas, os painéis fabricados com adesivo uréia-formaldeído apresentaram maiores valores de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), quando comparados com os confeccionados com tanino-formaldeído. Também se constatou diferença destas propriedades para o fator espécie, no qual a madeira de *L. lucidum* se destaca com maiores valores médios. Os painéis produzidos com *L. lucidum* apresentaram maior resistência e rigidez, mesmo com uma baixa taxa de compactação (Tabela 5).

Carvalho et al. (2014) obtiveram a mesma tendência de resultados apresentados nesta pesquisa para a propriedade de MOR em flexão estática. Os autores confeccionaram painéis aglomerados com madeira de *Pinus caribaea* var. *caribaea* e adesivos uréia-formaldeído e tanino-formaldeído, obtido de *Acacia mearnsii*, e relataram que o uso do adesivo tânico levou à redução da resistência dos painéis.

Todos os painéis produzidos (Tabela 6), com exceção de *P. taeda* e uréia-formaldeído e a mistura de espécies com o adesivo tanino-formaldeído, atenderam aos requisitos das normas EN 312 (European Committee for Standardization, 2003) (MOR \geq 13 MPa e MOE \geq 1,6 GPa), NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) (MOR \geq 11 MPa e MOE \geq 1,8 GPa) e CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) (MOR \geq 10,98 MPa e MOE \geq 2,4 \geq GPa).

A resistência ao arrancamento de parafuso, de superfície e de topo, foi superior nos painéis com madeira de *L. lucidum* e adesivo tanino-formaldeído, ou quando misturada com a madeira de *P. taeda* e adesivo uréia-formaldeído (Tabela 6). Os painéis produzidos com *P. taeda* e a mistura de espécies com uréia-formaldeído, como também os de *L. lucidum* com tanino-formaldeído, atenderam aos requisitos de resistência para a propriedade arrancamento de parafuso, conforme estabelecido pela norma NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006). As normas EN 312 (European

Committee for Standardization, 2003), NBR 14810-2 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) e CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) estabelecem os requisitos de $\geq 0,35$ MPa, $\geq 0,40$ MPa e $\geq 0,48$ MPa, respectivamente, para ligação interna, os quais foram atendidos pelos painéis confeccionados com o adesivo uréia-formaldeído e *L. lucidum* com tanino-formaldeído.

A madeira de *L. lucidum* e uréia-formaldeído, ou a mesma em mistura com *P. taeda* colada com tanino-formaldeído, proporcionou melhor ligação interna nos painéis. Verificou-se que houve uma forte interação entre os fatores adesivo e espécie, e que se refletiu nas demais propriedades físicas e mecânicas. Quando usada uréia-formaldeído, a mistura de espécies e o uso da madeira de *P. taeda* proporcionaram painéis com melhores propriedades. Por outro lado, quando foi usado tanino-formaldeído os painéis produzidos com *L. lucidum* apresentaram as melhores propriedades. De modo geral, esse fato foi atribuído à sinergia entre a massa específica da madeira (ou da mistura) e as características dos adesivos, em especial sua viscosidade. Sendo a solução de uréia-formaldeído mais viscosa que a de tanino-formaldeído (Momentive Química do Brasil, 2012; Tanac & Phenotan, 2014), houve pouca absorção deste adesivo por parte da madeira de *L. lucidum*, prejudicando o “ancoramento” e a colagem. Por outro lado, houve absorção excessiva do adesivo tanino-formaldeído pela madeira de *P. taeda* e pela mistura de madeiras, o que também causou falha na colagem.

Conclusões

A utilização da madeira de *Ligustrum lucidum* pura e o adesivo tanino-formaldeído, ou em mistura com *Pinus taeda* e o adesivo uréia-formaldeído, proporcionou painéis com melhores propriedades mecânicas e que atenderam aos requisitos normativos de propriedades mecânicas, quando comparado a painéis apenas com *P. taeda*. Em ambos os casos, foram também verificados os menores valores de absorção de água e inchamento em espessura. Dessa forma, os resultados demonstram que a madeira de *L. lucidum* pode ser utilizada na produção de painéis aglomerados com ambos os adesivos, sendo que para uréia-formaldeído sua utilização em mistura com *P. taeda* proporcionou painéis com melhores propriedades físicas e mecânicas.

Referências

- American Society for Testing and Materials. **ASTM D 1037–06a**: standard test methods for evaluating properties of wood-based fiber and particle panel materials. Philadelphia, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11941**: madeira: determinação da massa específica básica. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810-2**: chapas de madeira aglomerada: parte 2: requisitos. São Paulo, 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810-2**: painéis de partículas de média massa específica: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. São Paulo, 2013.
- Bianche, J. J. et al. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 623–630, 2012. DOI: 10.1590/S0104-77602012000400012.
- Carneiro, A. C. O. et al. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 521–531, 2009. DOI: 10.1590/S0100-67622009000300014.
- Carvalho, A. G. et al. Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 479–489, 2014. DOI: 10.5902/1980509814588.
- Commercial Standard. **CS 236-66**: mat formed wood particleboard. Geneva, 1968.
- Ditomaso, J. M. et al. **Weed control in natural areas in the western United States**. California: University of California, Weed Research and Information Center, 2013. 544 p.
- Emer, A. A. et al. Avaliação quantitativa e qualitativa da arborização do bairro Santa Terezinha na cidade de Pato Branco (PR). **Ambiência**, v. 9, n. 1, p. 129–143, 2013. DOI: 10.5777/ambiencia.2013.01.09.
- European Committee for Standardization. **EN 312**: particleboards: specifications. Bruxelas, 2003.
- Gonçalves, F. G. et al. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 33, n. 3, p. 501–509, 2009. DOI: 10.1590/S0100-67622009000300012.
- Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2017**. Brasília, DF, 2017. 80 p.
- Iwakiri, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 2, p. 303–308, 2010. DOI: 10.1590/S0044-59672010000200008.
- Johnson, S. B. Privet species’ are we sitting on species time bombs? In: BIENNIAL NSW WEEDS CONFERENCE, 15., 2009, Narrabri. **Proceedings...** Narrabri: [s.n.], 2009.

- Kanieski, M. R. et al. Parâmetros climáticos e incremento diamétrico de espécies florestais em Floresta Aluvial no Sul do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00124814, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.124814.
- Lorenzi, H. et al. **Árvores exóticas no Brasil**: madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.
- Maloney, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681 p.
- Melo, R. R. et al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010. DOI: 10.5380/uf.v40i3.18911.
- Momentive Química do Brasil. Cascamite (TM) MDP 1212. Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos, Curitiba, 2012. 11 p.
- Moslemi, A. A. **Particleboard**: volume 1: materials. London: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p.
- Napoli, L. M. et al. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 475-484, 2013. DOI: 10.5380/uf.v43i3.26204.
- Sanches, F. L. et al. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 559-569, 2016. DOI: 10.5902/1980509822756.
- Tanac, S. A. & Phenotan, A. G. **Adesivo para aglomerados**: catálogo técnico. Montenegro: [s.n.], 2014. 6 p.
- Trianoski, R. et al. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 57 – 64, 2013.
- Trianoski, R. et al. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 343-350, 2011.
- Vale, A. T. et al. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005. DOI: 10.5902/198050981878.