



Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e laminated veneer lumber (LVL)

Zaira Morais dos Santos Hurtado de MENDOZA^{1*}, Pedro Hurtado de Mendoza BORGES²,
Emanuella Araújo SANTOS¹, José Eduardo PENNA¹, Maísa Pavani dos Santos ELIAS¹,
Pedro Hurtado de Mendoza MORAIS²

¹Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

²Faculdade de Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

*E-mail: zairamorais09@gmail.com

Recebido em maio/2017; Aceito em agosto/2017.

RESUMO: Este trabalho objetivou realizar um estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e *laminated veneer lumber* (LVL), produzidos com lâminas da madeira de *Amescla* (*Trattinnickia burserifolia*). A metodologia adotada na confecção dos painéis foi de acordo com a linha de produção empresarial. Os dois tipos de painéis foram montados com sete lâminas e a colagem foi feita com resina à base de fenol formaldeído. Os ensaios foram realizados conforme as normas da ABNT. Para as propriedades físicas somente a massa específica e o inchamento em espessura apresentaram diferença estatística, sendo que o painel LVL apresentou a menor massa específica e o maior inchamento em espessura. Para as propriedades mecânicas, verificadas no ensaio de flexão estática, houve diferença entre os dois tipos de painéis, sendo que o maior módulo de ruptura (MOR) e o maior módulo de elasticidade (MOE) foram para o painel LVL. Para a avaliação da qualidade de colagem, houve diferença entre os dois tipos de painéis nos ensaios de cisalhamento, sendo que o LVL foi o painel que apresentou maior resistência na linha de cola. O painel LVL mostrou-se, na maioria dos ensaios executados, superior ao painel compensado.

Palavras-chave: compósitos de madeira; caracterização tecnológica; *Trattinnickia burserifolia*.

Comparative study of the physical and mechanical properties of panel plywood and laminated veneer lumber (LVL)

ABSTRACT: The objective of the research was to make a comparative study of the physical and mechanical properties of panels plywood and LVL (laminated veneer lumber), produced with *Trattinnickia burserifolia*. The methodology adopted in the preparation of the panels was carried out according to the business production line. The two types of panels were assembled with seven blades and the bonding was done with resin based on phenol formaldehyde. The specimens were tested according to ABNT standards. For the physical properties, only the specific mass and the swelling in thickness presented statistical difference, being that the LVL panel presented the lowest specific mass and the largest swelling in thickness. For the mechanical properties, verified in the static flexion test, there was difference between the two types of panels, with the largest modulus of rupture (MOR) and the largest modulus of elasticity (MOE) were for the LVL panel. For the evaluation of the bonding quality, there was a difference between the two types of panels in the shear tests, and the LVL was the panel that presented greater resistance in the glue line. The LVL panel has proven to be superior to the compensated panel in most tests.

Keywords: wood composites, technological characterization, *Trattinnickia burserifolia*.

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro possui grande importância econômica no país, pois este apresenta imensas áreas de florestas nativas e de reflorestamento. Para assegurar o seu perfil econômico e ao mesmo tempo proteger as florestas nativas, o setor investe na aplicação de novas tecnologias para aumentar cada vez mais o rendimento das florestas plantadas, aperfeiçoando continuamente o melhoramento genético de sementes e a clonagem de espécies. Quando comparado ao PIB brasileiro, a competitividade das árvores plantadas fica bem evidenciada, pois o setor fechou o ano de 2015 com 1,2% de representação em comparação com toda a riqueza gerada no País e 6,0% do PIB industrial (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2016).

A madeira extraída das florestas plantadas, tem como principal aplicação o setor de celulose, carvão e móveis. Já as madeiras oriundas de florestas nativas, são mais utilizadas, na construção civil e na indústria moveleira. Porém, de acordo com Murara Júnior et al. (2013), ao longo das últimas décadas, o perfil de consumo de madeiras nativas vem mudando, em função das restrições de exploração e da disponibilidade de espécies florestais nativas.

Para atender a demanda na área de construção civil e moveleira, as madeiras são processadas mecanicamente em serrarias e/ou indústrias laminadoras, que se diferenciam em função do tipo de maquinário utilizado e do tipo de produto gerado. Nas serrarias os principais equipamentos utilizados são as serras circulares e de fita, as quais geram peças de

madeira serrada com dimensões variadas para atender o mercado consumidor. Já as laminadoras têm como principal objetivo aproveitar ao máximo a tora de madeira, transformando-a em lâminas contínuas, ao usar o torno desfolhador, ou descontínuas, ao empregar as faqueadeiras. Essas lâminas obtidas, servirão para formar os painéis de madeira laminada, que têm como principal objetivo suprir algumas necessidades de uso, especificamente dimensões, estabilidade e resistência mecânica, que a tora original não oferece (IWAKIRI et al., 2012).

A indústria de chapas teve início com os painéis laminados e o primeiro painel fabricado foi o painel compensado. De acordo com Dias; Lahr (2003), as chapas de madeira compensada, também conhecidas por “contraplacados”, têm como conceito de produto, o emprego de lâminas finas de madeira, coladas perpendicularmente umas sobre as outras. As lâminas de madeira podem ser provenientes de árvores de coníferas ou de folhosas nativas e de reflorestamento.

Na indústria nacional, os compensados são divididos de acordo com sua forma de fabricação, em painéis multilaminados (*plywood*) ou sarrafeados (blockboard), ambos apresentando como principal característica, a alta resistência mecânica (MENDOZA, 2010).

Outro painel laminado descrito na literatura como sendo de boa resistência mecânica, é o painel *Laminated Veneer Lumber*, mais conhecido pela sigla LVL. Esse painel basicamente difere do painel compensado, pela forma paralela de disposição das suas lâminas. Buligon et al. (2015), mencionam que o LVL é conhecido nacionalmente como painéis de lâminas paralelas (PLP), e que apresenta a vantagem de ser um produto bem uniforme pois conserva as propriedades naturais da madeira. Carvalho et al. (2004), descrevem que no Brasil, o painel LVL é menos comercializado industrialmente do que o compensado, visto que esse último vem suprimindo as necessidades do mercado consumidor. Entretanto, algumas pesquisas (Bortoletto Júnior, 2009; Júnior et al., 2015; Souza, 2009) tem demonstrado que em algumas situações, estes painéis oferecem melhor desempenho do que o painel compensado, e este não é utilizado por desconhecimento dos consumidores inseridos no mercado madeireiro.

Conforme Muller et al. (2015), a confecção do LVL é de forma balanceada, afim de manter a sua estabilidade dimensional e apresentar equilíbrio no desempenho mecânico, quando o teor de umidade variar ou quando houver a atuação de forças internas e/ou externas. Para sua fabricação, o princípio básico é que as camadas de lâminas de madeira devem ser montadas de tal forma que a secção transversal do produto apresente uma linha neutra central, que fica dividida em duas partes simétricas e balanceadas entre si. Assim, as camadas distantes dessa linha neutra devem ter mesma espessura, ser formada por madeira de uma espécie com propriedades similares, e possuir mesmo teor de umidade por ocasião da colagem e da prensagem. Seguindo-se esse princípio, os autores mencionam que o material produzido será de excelente qualidade tecnológica no que se refere a estabilidade dimensional e resistência mecânica.

É unânime que a matéria prima sempre foi o pilar de sustentação da área madeireira por isso, as pesquisas com espécie já consagradas ou com as que tenham potencial de uso dentro do setor, são muito importantes.

Na área de produção de lâminas com madeiras tropicais, uma das espécies tradicionalmente utilizadas é a *Amescla* (*Trattinnickia burserifolia* (Mart.) Willd.), cuja ocorrência natural se estende pelos estados do Amazonas, Acre, Amapá e Mato Grosso. Sua madeira é fácil de usinar e dar acabamento, apresentando massa específica básica de 440 kg/m³, cerne e alborno pouco distintos pela cor, cheiro e gosto imperceptíveis, grã direita ou irregular, textura média, superfície irregularmente lustrosa, camadas de crescimento pouco distintas com delimitações de zonas fibrosas ligeiramente mais escuras (Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2017).

Aliado à necessidade de suprir a demanda madeireira do mercado atual, com o consumo consciente dos recursos florestais renováveis, o setor de produção e utilização de madeira vem buscando tecnologias diferenciadas, espécies alternativas, bem como adequação e indicação de usos dos produtos tradicionalmente empregados.

Dessa forma o objetivo da pesquisa foi fazer um estudo comparativo entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e LVL (*laminated veneer lumber*), produzidos com lâminas da madeira de *Amescla* (*Trattinnickia burserifolia*).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a pesquisa foram utilizadas lâminas da madeira de *Amescla* (*Trattinnickia burserifolia*) confeccionadas pela empresa MADEIRANIT Madeiras Ltda., localizada no município de Sinop, MT. Essas lâminas foram obtidas em torno laminador e tinham as dimensões originais de 2440 x 10,5 x 1220 mm (largura x espessura x comprimento) e teor de umidade entre 6 e 8%. Para a colagem das lâminas utilizou-se a resina sintética CR – 7010 à base de fenol-formaldeído, com teor de sólidos de 48%, viscosidade de 650 cP, pH igual a 13 e densidade igual a 1,150 g/cm³. A aplicação de adesivo nas lâminas foi realizada por uma passadeira de cola do tipo rolo, adotando-se a gramatura de 280 g/m².

No geral foram produzidos 6 painéis contendo 7 (sete) lâminas cada um, sendo três unidades de painéis compensados e três unidades de painéis LVL. Todos os painéis foram montados dentro da própria indústria seguindo sua metodologia de prensagem, que utiliza temperatura de 120 °C, tempo de 10,5 minutos e pressão real de 2,8 MPa.

Após condicionamento e esquadreamento, foram retirados os corpos de provas para realização dos ensaios físicos e mecânicos, segundo as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e suas respectivas Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), conforme a Tabela 1.

Para a análise dos dados foi adotado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições por painel. Os dados foram processados com auxílio da planilha eletrônica Excel (Microsoft), sendo que para todos os ensaios físicos e para o ensaio mecânico de cisalhamento na linha de cola (qualidade da colagem) determinaram-se as principais estatísticas descritivas e as médias foram comparadas pelo Teste t - Student. Entretanto, para os ensaios mecânicos de flexão estática (Módulo de ruptura - MOR e Módulo de elasticidade - MOE), foi empregado o teste de Tukey (p ≤ 0,05), para as médias detectadas como significativas pelo teste de F (p ≤ 0,05).

Tabela 1. Descrição dos ensaios físicos-mecânicos realizados e suas respectivas normas.
Table 1. Description of physical-mechanical tests performed and their respective standards.

Norma ABNT NBR	Ensaio	N
9484:2011	Teor de umidade	16
9485:2011	Massa específica aparente	16
9486:2011	Absorção de água	16
9535:2011	Inchamento - Ensaio	16
9533:2012	Resistência à flexão estática.	16
12466-1:2012	Qualidade da colagem	16

N: Número de corpos de prova por painel (repetição)

3. RESULTADOS

Na Tabela 2 são exibidos os resultados da estatística descritiva para os painéis compensados e LVL, bem como o teste Student (t), para a comparação de médias. Na Tabela 3 são mostrados os resultados da análise de variância para o teste de flexão (MOR e MOE), para ambos os tipos de painéis.

Na Tabela 4 verificam-se os resultados da comparação dos valores médios dos ensaios de MOR e MOE, pelo teste Tukey, para ambos os tipos de painéis.

Na Tabela 5 são exibidos os resultados da estatística descritiva para a qualidade da colagem, verificada pelo teste de cisalhamento na linha de cola em ambos os tipos de painéis. Nessa mesma Tabela, são apresentados também, o resultado do teste t-Student.

Tabela 2. Estatísticas descritivas das propriedades físicas de ambos os painéis e os resultados do teste de Student.

Table 2. Descriptive statistics of the physical properties for both panels and the Student test results.

Ensaio	Tipo de Painel	Média	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação	Erro Padrão da Média	Intervalo de Confiança (95%)	Resultado do teste t-Student
Teor de umidade (%)	Compensado	8,690	0,0049	5,5900	0,0012	±0,260	ns
	LVL	9,040	0,0053	5,8800	0,0013	±0,280	
Massa específica aparente (g/cm ³)	Compensado	0,554	0,0135	0,0243	0,0034	±0,014	*
	LVL	0,525	0,0365	0,0695	0,0091	±0,020	
Absorção de água (%)	Compensado	64,840	0,0986	15,2100	0,0246	±5,250	ns
	LVL	68,230	0,0734	10,7500	0,0183	±3,910	
Inchamento (%)	Compensado	2,150	0,5260	24,5000	0,2630	±0,835	*
	LVL	5,540	0,7893	14,2400	0,3946	±1,260	
Recuperação em espessura (%)	Compensado	0,510	0,0780	15,2941	0,1163	±0,038	ns
	LVL	0,470	0,0544	14,7027	0,1332	±0,027	

ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade; * Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

590

Tabela 3. Resultados da análise de variância para MOR e MOE nos painéis compensado e LVL.

Table 3. Results of variance analysis for MOR and MOE in plywood and LVL panels.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios		F Calculado	
		MOR	MOE	MOR	MOE
Tratamento	3	10.823,2	212.240,3	170,47*	17,93*
Resíduo	35	63,5	1.179,6		
Total	38				

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Fisher (F).

Tabela 4. Resultados da comparação entre os valores médios de MOR e MOE, de acordo com o teste Tukey.

Table 4. Results of comparison between means values for MOR and MOE based on the Tukey's test.

Orientação do ensaio	Tipo de painel	Médias (MPa)	
		MOR	MOE
Paralelo às fibras	Compensado	61,46 b	7.433 b
	LVL	81,71 a	10.755 a
Perpendicular às fibras	Compensado	41,82 c	3.773 c
	LVL	4,85 d	390 d

4. DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 2, que não houve diferença significativa para os teores de umidade entre os painéis compensados (8,69%) e os painéis LVL (9,04%), ambos estando abaixo da umidade de 12% determinada pela NBR 7190 (1997).

Campos et al. (2009), ao estudarem os painéis compensados de *Pinus* sp., confeccionados com cinco lâminas e resina poliuretana bi-componente, obtiveram teor de umidade médio de 9,26%. Lima (2011) trabalhando com painéis compensados e LVL de nove lâminas, fabricados com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., colados com o adesivo resorcinol-formaldeído, obtiveram para os compensados, valores médios de teor de umidade variando entre 8% e 11% e para o LVL a variação foi de 10,56% a 12,64%. Os teores de umidade encontrados neste trabalho foram compatíveis com os valores apresentados nas pesquisas descritas acima, para ambos os tipos de painéis estudados.

Tabela 5. Estatísticas descritivas do cisalhamento na linha de cola para ambos os painéis e resultado do teste t-Student.

Table 5. Descriptive statistics of the shear in the glue line for both panels and t – Student's test result.

Estatística descritiva	Tipo de Painel	
	Compensado	LVL
Tamanho da amostra	16	16
Média (MPa)	2,5300	4,0700
Desvio Padrão (MPa)	0,6590	0,7642
Erro Padrão da Média (MPa)	0,1761	0,2206
Intervalo de Confiança-95% (MPa)	± 0,38	± 0,49
Coefficiente de Variação (%)	26,03	19,01
Valor de t Tabelado	2,06	
Valor de t Calculado	5,51	
Test t – Student (p<0,05)	*	

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t Student.

Na avaliação da massa específica aparente (Tabela 2), os painéis compensados apresentaram valores médios de 0,554 g/cm³ e os painéis LVL de 0,525 g/cm³, sendo essas diferenças significativas pelo teste t ($p < 0,05$). Isso pode ter ocorrido em virtude do processo de colagem dos mesmos. Ao compensado foi adicionado uma maior quantidade de cola, pois as lâminas passavam pela “coladeira” na direção transversal. Já as lâminas de LVL passavam pela “coladeira” na direção longitudinal, com adição de menos cola, portanto ficando menos densa. Apesar da diferença estatística apresentada entre eles, os valores foram praticamente semelhantes, sendo ambos classificados como de média densidade.

Campos et al. (2009), ao trabalharem com painéis compensados de *Pinus* sp. produzidos com resina poliuretana bi-componente, fabricados com 5 lâminas, encontraram valores médios de massa específica aparente de 0,626 g/cm³. Valor este superior ao encontrado neste trabalho (0,554 g/cm³).

Muller et al. (2015), em sua pesquisa com LVL fabricados com cinco lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*, coladas com adesivo fenol-formaldeído, obtiveram massa específica aparente com valores médios entre 0,639 g/cm³ e 0,898 g/cm³. Esses valores foram superiores ao encontrado neste trabalho (0,525 g/cm³).

De acordo com Bortoletto Júnior (2009), essa diferença de massa específica encontrada nos compósitos de madeira, possivelmente ocorre devido à massa específica da espécie (matéria-prima), que deu origem ao produto, pois a maioria das propriedades tecnológicas da madeira é repassada para os seus subprodutos.

Para o ensaio de absorção de água os painéis compensados apresentaram uma média de 64,84% e os painéis LVL de 68,23% (Tabela 2). Campos et al. (2009), ao analisarem painéis compensados de cinco lâminas de *Pinus* sp., produzidos com resina poliuretana bi-componente, obtiveram média para absorção de água (24 horas) de 64,33%. Este resultado foi compatível ao encontrado neste trabalho (64,84%).

Muller et al. (2015), ao avaliarem painéis LVL com diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*, fabricados com cinco lâminas e adesivo fenol-formaldeído, encontraram valores médios entre 22,19% e 42,55%, para 24 horas de absorção de água, sendo esses valores inferiores aos valores relatados neste trabalho (68,23%). Isso provavelmente ocorreu devido ao tipo de madeira utilizado na confecção dos painéis. A Amescla é uma madeira que apresenta alta porosidade, o que pode ter favorecido a entrada de água na superfície e o aumento de massa, favorecendo uma maior absorção de água percentual.

Ainda na Tabela 2, verifica-se que para o ensaio de inchamento em espessura os valores médios dos painéis compensados foram de 2,15% e dos painéis LVL foram de 5,54%, sendo essas diferenças significativas pelo teste t ($p < 0,05$). Já a recuperação em espessura foi de 0,51% para o painel compensado e de 0,47% para o painel LVL, não havendo diferença significativa entre as médias.

De acordo com Del Menezzi (2006), o inchamento em espessura nos painéis de madeira é constituído de duas fases: o inchamento ocasionado pela adsorção de água e o inchamento provocado pela liberação das tensões de prensagem. Iwakiri et al. (2012), corrobora com essa

temática, explicando que o inchamento em painéis de madeira depende de dois fatores primordiais. O primeiro fator é conhecido por inchamento higroscópico, que ocorre naturalmente em qualquer peça de madeira submetida à alta umidade. Neste caso, ela irá expandir até que suas fibras estejam saturadas de água e quando exposta em valores de baixa umidade, ela vai contrair. O segundo fator, relativo às tensões de compressão, é determinante para painéis de madeira, ou seja, devido aos processos de confecção destes produtos, o contato com a umidade faz com que ocorra uma liberação das tensões de compressão a que foram submetidos, ocorrendo também o inchamento do painel. No final do processo o painel terá o inchamento em espessura, devido à anisotropia da madeira, e também devido à liberação das forças de tensões, ocasionadas pelo processo de prensagem. Essas tensões têm relação direta com a pressão de prensagem e com a taxa de compactação do painel.

Silva et al. (2012), ao avaliarem a qualidade de compensados com três lâminas de *Pinus taeda*, fabricados com adesivos à base de taninos de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído, obtiveram valores médios de inchamento de 3% e recuperação em espessura de 3,5%. Esses valores foram superiores ao encontrados para os painéis compensados deste trabalho (I = 2,15% e R = 0,51%). A razão para esse fato, pode ter sido ocasionado pelo tipo de adesivo usado no presente trabalho, pois segundo sua formulação, informado no boletim técnico da empresa fornecedora do produto, este é altamente hidrofóbico. Além disso, a quantidade de cola usada pela empresa na confecção dos painéis (gramatura) pode ter contribuído para sua impermeabilização lateral, minimizando assim, o inchamento em espessura.

Souza (2009), ao trabalhar com painéis LVL para duas espécies de *Pinus*, relatou valores de inchamento em espessura de 5,30% para *Pinus oocarpa* e de 5,01% para *Pinus kesiya*. Valores esses, próximos ao relatado para os painéis LVL do presente trabalho (5,54%). A recuperação em espessura no painel LVL (0,47%) foi menor do que no painel compensado (0,51%), possivelmente devido à forma diferenciada de orientação das lâminas em cada tipo de painel.

Conforme Tabela 3, no ensaio de flexão estática o MOR apresentou maior variabilidade entre as fontes de variação, dada pelo valor da estatística F calculada. Isso significa que a diferença entre os valores médios de MOR, para ambos os tipos de painéis, foi mais acentuada do que para o MOE. Contudo, existem evidências de diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos para as duas propriedades mecânicas.

Ao analisar a Tabela 4, nota-se que independentemente do tipo de painel, o ensaio de flexão estática orientado na direção paralela às fibras mostrou-se superior ao ensaio orientado na direção perpendicular às fibras. O painel LVL ensaiado na direção paralela apresentou o melhor desempenho, tanto no módulo de ruptura (MOR) como no módulo de elasticidade (MOE). Vale ressaltar, que apesar dos menores valores apontados no ensaio perpendicular às fibras, o painel compensado superou o painel LVL nesse tipo de avaliação.

Campos et al. (2009), ao avaliarem a resistência à flexão paralela, em painéis compensados de *Pinus* sp. produzidos com 5 lâminas unidas por resina poliuretana bi-componente, encontraram valores para MOR variando de 38,45 MPa a

55,85 MPa e para MOE de 10.000,16 a 15.321,57 MPa. Neste caso, os valores de MOR foram inferiores ao deste trabalho (61,46 MPa), porém, os valores de MOE foram superiores (7.433 MPa).

Silva et al. (2012), em seus trabalhos com compensados de 3 lâminas de *Pinus taeda*, fabricados com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído, obtiveram valor de 73,62 MPa para MOR na direção paralela, estando bem acima do valor encontrado neste trabalho (61,46 MPa). Essa diferença possivelmente ocorreu devido à espessura da lâmina e do número de lâminas que compõem o painel, além da densidade e porosidade do material de origem.

Lima (2011), ao estudar LVL fabricados com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., produzidos com 9 lâminas e adesivo resorcinol-formaldeído, encontrou para o MOR, valores variando de 65,80 a 96,11 MPa e para o MOE de 3.206,61 a 5.473,85 MPa. Comparando-se aos resultados dessa pesquisa, verifica-se que os valores de MOR foram compatíveis (81,71 MPa), entretanto os valores de MOE foram inferiores ao deste trabalho (10.755 MPa).

Mendoza (2010), menciona que as diferenças nos testes de flexão (MOR e MOE), especialmente o MOR, são muito dependentes da espessura das lâminas e da qualidade da colagem entre elas, portanto, sempre que possível, deve-se padronizar esses dois fatores, para uniformidade nos resultados.

Na Tabela 5, verifica-se que o coeficiente de variação, em ambos os painéis foram satisfatórios para o ensaio de cisalhamento na linha de cola, indicando um bom controle na execução deste teste. Na mesma Tabela, nota-se que houve diferença estatística entre as médias dos dois tipos de painéis, sendo que o painel LVL, apresentou a maior média em termos de resistência ao cisalhamento na linha de cola, em comparação ao painel compensado. Isso provavelmente ocorreu devido à forma como cada painel foi confeccionado. No painel LVL a ligação colada ficou entre duas lâminas de direção paralela às fibras, já no painel compensado a ligação colada ficou entre uma lâmina de direção paralela às fibras e outra na direção perpendicular às fibras. Nesse caso, a resistência ao cisalhamento perpendicular ("rolling shear") foi inferior ao cisalhamento paralelo às fibras, sendo assim, a ligação foi direcionada para romper na madeira, em vez da linha de cola.

Lima (2011), ao analisar compensados de cinco lâminas produzidos com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., colados com adesivo fenol-formaldeído, obteve para o cisalhamento na linha de cola, valores que variaram de 2,33 a 3,41 MPa. Esses resultados são compatíveis aos encontrados neste trabalho (2,53 MPa) para os painéis compensados.

Arruda et al. (2011), ao verificarem o efeito da modificação termomecânica, nas lâminas de amescla (*Trattinnickia burserifolia* (Mart.) Willd.), para a produção de painéis compensados de lâminas coladas com resina fenólica, obtiveram o valor médio de 3,35 MPa para o cisalhamento na linha de cola. Valor esse, superior ao encontrado neste trabalho (2,53 MPa) para os painéis compensados.

Iwakiri et al. (2011), ao avaliarem o potencial de uso de espécies de pinus tropicais e eucalipto, na produção de painéis compensados ureicos, encontraram valores médios de

tensões de cisalhamento da linha de cola na faixa de 1,48 MPa a 2,61 MPa. Valores estes, próximo ao encontrado neste trabalho (2,53 MPa) para os painéis compensados com adesivo fenólico.

Silva et al. (2012), ao trabalharem com compensados de três lâminas, fabricados com madeira de Pinus e adesivos à base de taninos, obteve 1,72 MPa para o valor médio de cisalhamento na linha de cola. Resultado inferior ao encontrado neste trabalho (2,53 MPa).

Os valores de cisalhamento na linha de cola para os painéis LVL dessa pesquisa (4,07 MPa) foram inferiores aos valores médios (4,61 MPa), encontrados por Lima (2011) estudando LVL de nove lâminas produzidos com *Cordia goeldiana*, *Parahancornia amapa*, *Pterodon pubescens* e *Pinus* sp., e também inferiores aos valores médios (5,48 MPa) relatados por Júnior et al. (2015), ao estudarem LVL de clones de *Eucalyptus urophylla*.

As diferenças na qualidade da colagem apresentada entre as pesquisas citadas acima e o presente trabalho, possivelmente ocorreram devido ao tipo de adesivo, pois alguns são quimicamente menos resistentes do que outros, e também devido à espécie empregada. Essa suposição é corroborada por Iwakiri et al. (2012), ao afirmarem que a heterogeneidade e a variabilidade das propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira, entre as espécies de madeira, ou até mesmo entre as diferentes partes de uma árvore da mesma espécie, são responsáveis por afetar a qualidade de colagem das lâminas durante o processo de fabricação dos painéis.

5. CONCLUSÕES

Na maioria das avaliações realizadas, principalmente nos ensaios de flexão estática, o painel LVL evidenciou superioridade em relação ao painel compensado. Sendo portanto, uma alternativa viável dentro do setor madeireiro, ampliando a quantidade de produtos disponíveis para o mercado consumidor. A madeira de amescla mostrou-se promissora para a fabricação dos dois tipos de painéis, revelando-se como uma opção motivadora para ser explorada dentro desse segmento industrial.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem pelo apoio prestado no desenvolvimento desse trabalho, à empresa Madeiranit Madeiras LTDA (Sinop, MT), particularmente a gerente geral Zuleika Emelina Joanella Baecker e ao técnico de produção Antônio Marcos dos Santos, e à empresa Maseal (Campo Grande, MS), com destaque para o gerente geral Flávio Pleutin.

Em especial, os autores agradecem, *in memoriam*, ao ilustre Professor Dr. Norman Barros Logsdon pela inestimável contribuição com essa pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

ARRUDA, L. M.; GONÇALEZ, J. C.; DEL MENEZZI C. H. S.; MELO, R. R. Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecanicamente. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 02, n. 01, p. 29-42, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.12953/2177-6830.v02n01a03>

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, ABNT, 1997, 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9484**: Compensado – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, ABNT, 2011a, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 9485**: Compensado – Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, ABNT, 2011b, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 9486**: Compensado – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, ABNT, 2011c, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9535**: Compensado - Determinação do inchamento - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2011d, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 9533**: Compensado – Determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro, ABNT, 2012a, 2p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12466-1**: Compensado – Determinação da qualidade de colagem - Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 2012b, 4p.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas da madeira e do LVL de *Pinus merkusii*. **Revista Forestal Venezolana**, Merida, v. 2, n.53, p.191 - 195, jul/dez. 2009.
- BULIGON, E. A.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTINI, E. J.; RAUBER, R.; BERGER, C. Propriedades físico-mecânicas de painéis de lâminas paralelas reforçados com PRFV. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 731-741, jul/set., 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509819676>
- CAMPOS, C. I.; MORAIS, R. D. V.; NASCIMENTO, M. F. Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzidos com *Pinus* sp. e resina poliuretana bi-componente. **Revista Madeira Arquitetura & Engenharia**, São Carlos, SP, v. 10, n.24, p. 37-50, jan/jun. 2009.
- CARVALHO, A. M.; LAHR, F. A. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Use of Brazilian *Eucalyptus* to produce LVL panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 11, p. 61-64, 2004.
- DEL MENEZZI, C. H. S. Instabilidade dimensional da madeira e de seus subprodutos: causas, consequências e prevenção. Brasília-DF: UnB, 2006. 37 p. (**Comunicações Técnicas Florestais**), v. 8, n. 2. 2006.
- DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Fabricación de madera contraplacada con adhesivo poliuretano alternativo à base de ricino. **Maderas Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 5, n. 2, p. 163175, 2003.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). Relatório Anual. In: **Importância econômica do setor**. Brasília, DF, 2016, p. 57 – 58.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Consultas online. São Paulo, SP. Disponível em: http://www.ipt.br/consultas_online
Acesso em junho de 2017.
- IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; BRAZ, R. L.; CASTRO, V. G.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO, E.; RANCATTI, H.; SANCHES, F.L. Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina ureia-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 809 - 816, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v42i4.25688>
- JUNIOR, J. B. G.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L.; GUIMARÃES, B. M. R.; SIQUIERA, H. F. Qualidade de painéis LVL produzidos com madeira de clones de *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 35, n. 83, p. 307-313, jul./set. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2015.pfb.35.83.797>
- LIMA, N. N. **Painéis laminados e particulados à base de madeiras tropicais da Amazônia**. 2011. 208 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2011.
- MENDOZA, Z. M. S. H. **Efeito da inclusão laminar nas propriedades de painéis aglomerados fabricados com resíduos da indústria laminadora**. 2010. 128p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.
- MULLER, M. T.; HASELEIN, C. R.; MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M. Influência de diferentes combinações de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda* em painéis LVL. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1, p.153 – 164, jan/mar. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509817473>
- MURARA JUNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de *Pinus* para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 4, p. 556-563, out./dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.037>
- SILVA, B. C.; VIEIRA, M. C.; OLIVEIRA, G. L.; GONÇALVES, F. G.; RODRIGUES, N. D.; LELIS, R. C. C.; IWAKIRI, S. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 511-519, out./dez. 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.057>
- SOUZA, F. **Propriedades mecânicas, físicas, biológicas e avaliação não-destrutiva de painéis de lâminas paralelas (LVL) confeccionados com madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus kesiya***. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 135 p.