Avaliação do potencial de uso de seis espécies do gênero
Eucalyptus na produção de painéis de lâminas paralelas - LVLEvaluation of potential for using six species of the genus
Eucalyptus in the production of laminated veneer lumber - LVLSetsuo Iwakiri¹, Rosilani Trianoskoi², José Guilherme Prata², Bruna Veridiana Muller³,
Douglas Edson Carvalho⁴, José Almeida Freitas Júnior³ e Thiago Souza Rosa³

Resumo

Estudos sobre espécies alternativas de rápido crescimento provenientes de florestas plantadas para produção de painéis laminados de madeira é de grande importância no atendimento às demandas para aplicações estruturais da madeira. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de seis espécies de *Eucalyptus* na produção de painéis de lâminas paralelas - LVL. As lâminas foram obtidas num torno piloto com espessura de 2,0 mm. Os painéis foram produzidos com cinco lâminas utilizando a resina fenol-formaldeído em duas diferentes formulações, com gramatura de 320 g/m² (linha dupla). Foram avaliadas as propriedades de resistência da linha de cola e flexão estática paralela e perpendicular. Os resultados indicaram que o aumento no teor de sólidos da batida de cola não melhorou de forma significativa as propriedades mecânicas dos painéis LVL. O *E. viminalis* foi a espécie que apresentou propriedades mecânicas superiores e o *E. deanei* propriedades inferiores, quando comparados com os demais tratamentos. Com exceção do *E. deanei*, todas as demais espécies estudadas apresentam potencial para produção de painéis LVL.

Palavras-chave: Eucalipto; colagem de lâminas; resina fenol-formaldeído.

Abstract

Studies on alternative fast growing species from forest plantations for production of laminated wood panels are of great importance in meeting the demands for structural applications of timber. This work aimed to evaluate the potential use of six species of *Eucalyptus* in the production of laminated veneer lumber - LVL. The veneers were obtained in a pilot lathe with a thickness of about 2.0 mm. The panels were produced with five veneers using the phenol-formaldehyde resin in two different formulations, with a weight of 320 g / m² (double line). The mechanical properties of the glue line shear strength, parallel and perpendicular static bending tests were evaluated. The results indicated that the increase in glue solids content did not influence significantly the mechanical properties of LVL. *E. viminalis* was the species with the best performance in static bending tests and *E. deanei* showed the worst performance among the species studied. With the exception of *E. deanei*, all other species studied showed potential for the production of LVL panels.

Keywords: Eucalipto; veneer gluing; phenol-formaldehyde resin.

INTRODUÇÃO

As empresas do setor florestal brasileiro têm investido em pesquisas com as espécies do gênero eucalipto como alternativas para fornecimentos de matéria-prima para as indústrias. O *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla* e o *Eucalyptus dunnii* estão entre as espécies que já vem sendo utilizadas na produção de madeira serrada, lâminas e compensados (IWAKIRI et al., 2013). Dentre as citadas, o *Eucalyptus dunnii* é uma espécie de rápido crescimento e que

---

¹Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR – Universidade Federal do Paraná / Setor Ciências Agrárias. Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – 80210 – 170 – Curitiba, PR, Brasil. E-mail: setsuo@ufpr.br.

²Professor Associado do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná / Setor de Ciências Agrárias. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - 80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: rosilani@ufpr.br; jgprata@ufpr.br.

³Doutorando(a) em Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná / Setor de Ciências Agrárias. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - 80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: bruna_florestal@yahoo.com.br; thiagosouzadarosa@florestal.eng.br.

⁴Mestrando em Engenharia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná / Setor de Ciências Agrárias. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - 80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: douglasecar@hotmail.com; freitasjose@terra.com.br.

apresenta vantagem em relação às outras espécies, pela sua resistência a geadas e inverno rigoroso, possibilitando plantios nos Estados da região sul do Brasil.

Vários estudos têm sido conduzidos visando avaliar o potencial de uso de espécies de eucalipto na produção de lâminas e painéis compensados multilaminados. Dentre os mesmos, cabe citar o trabalho de Guimarães Jr. et al. (2009) que avaliaram a qualidade de lâminas e compensados de 15 procedências advindas de espécies de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, com 31 anos de idade, e concluíram que as mesmas apresentam grande potencial para a produção de lâminas e compensados. Bortoletto Jr. (2003) avaliou o comportamento de várias espécies de eucalipto para produção de lâminas e compensados, tendo obtidos resultados satisfatórios para *Eucalyptus pilularis*, *E. propinqua*, *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. pyrocarpa*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *E. torelliana* e *E. saligna*.

Por outro lado, estudos sobre produção de painéis de lâminas paralelas (LVL – *laminated veneer lumber*) no Brasil ainda são incipientes. Matos (1997) realizou estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda*, e, Pio et al. (2012) avaliou a qualidade de painéis de lâminas paralelas de *Eucalyptus grandis*. Os autores encontraram resultados de propriedades mecânicas satisfatórias para ambas as espécies estudadas. Em estudos mais recentes, Lara Palma e Ballarin (2011) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL produzidos com lâminas de *Eucalyptus grandis*, provenientes de reflorestamentos da região de Sengés, Paraná, com as dimensões comerciais de 2500 mm de comprimento, 1200 mm de largura e 50 mm de espessura, constituídos com 23 lâminas de 2,4 mm. Os autores afirmam no trabalho que todos os valores de propriedades avaliadas atingiram parcialmente ou ultrapassaram os limites médios de referência estabelecidos para painéis LVL e para a madeira sólida originária, atestando, sobretudo, a qualidade dos painéis produzidos com essa madeira. Alguns pesquisadores avaliaram o potencial de uso de algumas espécies tropicais na produção de painéis LVL. Melo (2012) estudou a espécie *Schizolobium amazonicum* (Paricá); e Lima et al. (2013), as espécies *Cordia goeldiana* (Freijó), *Parkia gigantocarpa* (Faveira) e *Brosimum parinarioides* (Amapá doce). Os autores concluíram que, com exceção dos painéis de Freijó, as demais espécies estudadas apresentaram propriedades mecânicas favoráveis para produção de painéis LVL.

Os painéis de lâminas paralelas foram desenvolvidos nos Estados Unidos na década de 70, com denominação comercial de “Laminated Veneer Lumber – LVL”. O princípio de fabricação do LVL difere do painel compensado multilaminado pela disposição das lâminas na mesma direção e não a da laminação cruzada. Com a aplicação deste princípio, a resistência do painel na direção longitudinal ao plano do painel será maior, favorecendo seu uso em aplicações que requeiram maior resistência à flexão estática (TSOUMIS, 1991; BALDWIN, 1993). De acordo com Peace (1994), os painéis LVL apresentam as seguintes vantagens em comparação à madeira sólida: (i) maior resistência em função da estrutura reconstituída dos painéis com lâminas classificadas; (ii) flexibilidade dimensional quanto a largura e comprimento desejado; (iii) possibilidade de utilização de grande variedade de espécies florestais.

As principais aplicações de painéis LVL são para pisos de carrocerias, vagões de trens, escadas e flanges de vigas em “I”. As vigas em “I”, denominado de “I – joist”, são amplamente empregadas nos EUA e Canadá para montagem de estruturas de madeira, e sua principal vantagem é a economia no consumo de madeira e maior relação peso/resistência das peças (PEDROSA, 2003).

Poucas pesquisas sobre painéis de lâminas paralelas têm sido realizadas no Brasil, e a sua aplicação como elemento estrutural composto não foi ainda viabilizada. Tendo em vista a necessidade de estudos sobre painéis estruturais de madeira e procurar espécies alternativas de rápido crescimento para esta finalidade, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de seis espécies do gênero *Eucalyptus* na produção de painéis de lâminas paralelas.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta pesquisa foram utilizadas as seguintes espécies de eucalipto para produção de painéis de lâminas paralelas: *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus viminalis*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus phaeotricha* e *Eucalyptus deanei*. As árvores com idades de 19 a 21 anos foram coletadas em plantios florestais localizados nos municípios de Piên – PR e Jaraguá do Sul – SC. As toras com

comprimento de 60 cm foram laminadas num torno desfolhador piloto, com espessura nominal de 2,0 mm e, posteriormente seccionadas em guilhotina com dimensões de 600 mm x 600 mm.

As lâminas foram secas ao conteúdo de umidade médio de 8% (base peso seco da madeira) e seccionadas nas dimensões finais do painel de 500 mm x 500 mm. Os painéis foram produzidos com cinco lâminas, utilizando resina fenol-formaldeído (FF) com duas formulações distintas (FA e FB), em partes por peso (p/p). (FA): resina FF = 100 p/p, farinha de coco = 5 p/p, trigo = 5 p/p e água = 5 p/p; (FB): resina FF = 100 p/p, trigo = 15 p/p e água 15 p/p. O teor de sólidos da batida de cola da formulação A e B foram respectivamente de 42,61% e 33,79. A adoção das diferentes formulações teve como objetivo avaliar a influência da maior proporção de resina na qualidade dos painéis LVL. A gramatura empregada foi de 160 g/m² (linha simples). Após a aplicação do adesivo, os painéis foram mantidos “fechados” com tempo de montagem de 30 minutos, e prensados numa prensa termo-hidráulica à temperatura de 140°C, pressão específica de 10 kgf/cm² e tempo de prensagem de 10 minutos. Foram produzidos três painéis por espécie e formulação, totalizando 36 painéis.

Após a prensagem, os painéis foram acondicionados em câmara climática com temperatura de 20 ± 2°C e umidade relativa de 65 ± 5% até a estabilização. Para a realização dos ensaios mecânicos, foram retirados cinco corpos-de-prova para flexão estática no sentido paralelo ao plano do painel (*edge wise*) e sete no sentido perpendicular, com as dimensões de 250x50x10 mm e 390x10x17 (comprimento x largura x espessura), respectivamente, dez corpos-de-prova para ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento, com as dimensões de 100x25x10mm (comprimento x largura x espessura), sendo cinco para pré-tratamento a seco e cinco para ciclo de fervura. A massa específica aparente foi determinada a partir dos corpos-de-prova de flexão estática. Os ensaios foram realizados em máquina de ensaios universal EMIC com capacidade para 2 toneladas, de acordo com a Norma Europeia EN (2002) para flexão estática e EN (2004) para cisalhamento da linha de cola. Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente por meio de ANOVA e teste de Tukey, ao nível de probabilidade de 95%. A análise estatística foi realizada por meio do *software* R 3.1.1. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com seis espécies e duas formulações de batida de cola.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa específica aparente

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios de massa específica aparente das lâminas de madeiras e dos painéis LVL das seis espécies estudadas.

Tabela 1. Resultados de massa específica das lâminas e dos painéis LVL.

Table 1. Results of density of the veneer and LVL.

Espécie	Massa específica Lâminas (g/cm ³)	Massa específica (g/cm ³)	
		Formulação A	Formulação B
<i>E. viminalis</i>	0,617	0,883 A a (2,51)	0,879 A a (1,78)
<i>E. saligna</i>	0,687	0,822 B a (5,67)	0,837 B a (7,61)
<i>E. globulus</i>	0,564	0,815 B a (4,01)	0,817 B a (3,27)
<i>E. phaeotricha</i>	0,584	0,796 BC a (1,69)	0,771 C a (1,23)
<i>E. robusta</i>	0,577	0,777 C a (2,83)	0,753 C a (2,85)
<i>E. deanei</i>	0,571	0,687 D a (3,88)	0,670 D a (2,68)

Médias seguidas de mesma letra (maiúscula vertical e minúscula horizontal) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de significância. Valores entre parênteses equivalem ao coeficiente de variação.

Não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as médias de massa específica aparente dos painéis produzidos com formulações A e B, com diferentes teores de sólidos da batida de cola. Este resultado já era esperado, tendo em vista que a diferença no peso do adesivo sólido após a cura ser muito pequena entre as duas formulações da batida de cola.

Os valores médios de massa específica dos painéis produzidos com a formulação (A) variaram de 0,687 g/cm³ (*E. deanei*) a 0,883 g/cm³ (*E. viminalis*), e, para a formulação (B), de 0,670 g/cm³ (*E. deanei*) a 0,879 g/cm³ (*E. viminalis*). Foram constatadas diferenças significativas entre os valores médios de massa específica obtidos para as seis espécies estudadas. Tanto para a formulação (A), quanto para a (B), os painéis de *E. viminalis* apresentaram médias superiores em relação aos painéis das demais espécies, e os painéis de *E. deanei* apresentaram médias inferiores em relação às demais espécies.

Para todas as espécies, os valores de massa específica dos painéis foram superiores aos valores de massa específica das lâminas de seis espécies publicados por Iwakiri et al. (2013) e utilizadas neste estudo para manufatura de painéis LVL, conforme apresentados na Tabela 1. Os maiores valores de massa específica dos painéis em relação à massa específica da madeira podem ser atribuídos à compressão das lâminas no processo de prensagem à alta temperatura, reduzindo a espessura nominal das lâminas de madeira e, conseqüentemente o volume das lâminas.

Flexão estática paralela – *Edge wise*

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) em flexão estática paralela ao plano do painel (*Edge wise*), obtidos para os painéis LVL das seis espécies estudadas.

Tabela 2. Resultados de flexão estática paralela.

Table 2. Results of edge wise static bending.

Espécie	Flexão paralela (<i>Edge wise</i>)			
	MOE(MPa)		MOR (MPa)	
	FA	FB	FA	FB
<i>E. viminalis</i>	22762,90 A a (10,88)	24148,66 A a (5,60)	138,23 A a (4,44)	134,44 A a (6,52)
<i>E. saligna</i>	20596,65 B a (8,32)	21923,79 B a (5,47)	135,65 A a (7,88)	123,16 BC b (9,01)
<i>E. globulus</i>	15640,51 D b (9,75)	18712,98 C a (5,63)	177,66 B a (7,02)	121,18 BC a (10,30)
<i>E. phaeotricha</i>	16746,38 CD a (8,83)	18389,07 C a (4,98)	128,86 AB a (10,23)	130,44 AB a (9,94)
<i>E. robusta</i>	17993,28 C a (10,89)	17204,36 C a (3,95)	129,48 A a (4,13)	114,85 C b (7,90)
<i>E. deanei</i>	13921,91 E a (10,47)	13193,09 D a (12,09)	91,56 C a (9,14)	86,52 D a (9,66)

FA/FB: formulação A e B; Médias seguidas de mesma letra (maiúscula vertical e minúscula horizontal) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de significância. Valores entre parênteses equivalem ao coeficiente de variação.

Os resultados de MOE paralelo dos painéis produzidos com diferentes formulações apontaram diferença significativa apenas para a espécie *E. globulus*. Para esta espécie, os painéis produzidos com a formulação (B), com menor teor de sólidos da batida de cola, apresentaram maior média de MOE em relação aos painéis produzidos com a formulação (A). Este resultado é contraditório tendo em vista que a formulação (B) é composta com menor proporção de resina em relação à formulação (A). Outra variável que poderia ter influenciado neste resultado seria a massa específica dos painéis, entretanto os seus valores médios não apresentaram diferença significativa entre os painéis produzidos com as duas formulações. Para as demais espécies não foram constatadas diferenças significativas entre as diferentes formulações da batida de cola, o que reflete em vantagens na relação custo benefício, podendo ser empregada a formulação com menor proporção de resina fenólica.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), constataram-se diferenças estatísticas no MOE entre as espécies, com maior valor médio obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. robusta*, *E. phaeotricha*, *E. globulus* e *E. deanei*. Da mesma forma, para os painéis produzidos

com a formulação (B), foram constatadas diferenças significativas entre as espécies, com maior valor médio de MOE obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. globulus*, *E. phaeotricha*, *E. robusta* e *E. deanei*. A menor média de MOE paralelo obtida para *E. deanei* pode ser atribuída à menor massa específica dos painéis desta espécie.

Como base referencial para comparações de resultados, Iwakiri et al. (2010), encontraram para painéis LVL de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus taeda*, valores de MOE paralelo de 20.102 MPa e 15.624 MPa, respectivamente. Lara Palma e Ballarin (2011) obtiveram para Painéis LVL de *Eucalyptus grandis* MOE paralelo de 15.871 MPa. Neste estudo, os valores médios obtidos variaram de 13.921 MPa para *E. deanei* e 22.762 MPa para *E. viminalis*. Com exceção de painéis de *E. deanei*, os valores obtidos para as demais espécies, estão próximos dos encontrados pelos referidos autores.

Para o MOR paralelo, os painéis produzidos com diferentes formulações apontaram diferença significativa para as espécies *E. saligna* e *E. robusta*. A formulação (A) com maior teor de sólidos da batida de cola apresentou maior média de MOR em relação à formulação (B). Este resultado indica a influência positiva da maior proporção de resina em relação a outros componentes. Para as demais espécies, não foram constatadas diferenças significativas entre as diferentes formulações avaliadas, o que significa vantagens na relação custo benefício.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as espécies, com maior valor médio obtido para painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. robusta*, *E. phaeotricha*, *E. globulus* e *E. deanei*. Da mesma forma, para os painéis produzidos com a formulação (B), foram constatadas diferenças significativas entre as espécies, com maior valor médio obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. phaeotricha*, *E. saligna*, *E. globulus*, *E. robusta* e *E. deanei*. Os painéis de *E. deanei* apresentaram também para o MOR os efeitos da menor massa específica do painel sobre esta propriedade, corroborando com as mesmas constatações feitas para o MOE.

Os valores médios de MOR paralelo obtidos para as seis espécies de eucalipto objetos deste estudo variaram de 86 MPa para *E. deanei* e 138 MPa para *E. viminalis*, os quais foram satisfatórios quando comparados com algumas fontes citadas na literatura. Lara Palma e Ballarin (2011) encontraram para painéis LVL de *E. grandis*, MOR paralelo de 88 MPa; Melo (2012) obteve para painéis de *Schizolobium amazonicum*, MOR paralelo de 49 MPa, salientando que esta espécie de madeira tropical apresenta baixa massa específica.

Flexão estática perpendicular – *Flat wise*

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) em flexão estática perpendicular ao plano do painel (*flat wise*), obtidos para os painéis LVL das seis espécies estudadas.

Tabela 3. Resultados de flexão estática perpendicular.

Table 3. Results of flat wise static bending.

Espécie	Flexão perpendicular (<i>Flat wise</i>)			
	MOE (MPa)		MOR (MPa)	
	FA	FB	FA	FB
<i>E. viminalis</i>	22259,72 A a (4,13)	22068,27 A a (4,14)	161,63 A a (3,57)	141,74 A b (4,70)
<i>E. saligna</i>	18068,22 B a (6,25)	17871,91 B a (9,60)	148,37 AB a (6,40)	138,32 A a (11,80)
<i>E. globulus</i>	16763,42 B a (8,63)	15894,69 C a (9,07)	130,06 C a (9,39)	135,12 A a (7,96)
<i>E. phaeotricha</i>	17348,27 B a (6,60)	17361,23 BC a (8,95)	140,85 BC a (6,99)	143,50 A a (11,57)
<i>E. robusta</i>	16657,35 B a (10,57)	15985,14 C a (7,17)	134,86 BC a (9,47)	132,33 A a (7,58)
<i>E. deanei</i>	12532,69 D a (12,71)	12679,28 D a (7,95)	92,36 D a (13,90)	99,23 B a (10,43)

FA/FB: formulação A e B; Médias seguidas de mesma letra (maiúscula vertical e minúscula horizontal) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de significância. Valores entre parênteses equivalem ao coeficiente de variação.

Os resultados de MOE perpendicular dos painéis produzidos com diferentes formulações não apontaram diferença significativa entre as formulações (A) e (B). Ou seja, o aumento no teor de sólidos da batida de cola não contribuiu para melhorar o MOE perpendicular dos painéis produzidos, sendo um indicativo da possibilidade de redução no custo do adesivo sem afetar a qualidade dos painéis.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as espécies, com maior valor médio obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. phaeotricha*, *E. globulus*, *E. robusta*, e *E. deanei*. Da mesma forma, para os painéis produzidos com a formulação (B), foram constatadas diferenças significativas entre as espécies, com maior valor médio obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. phaeotricha*, *E. robusta*, *E. globulus*, e *E. deanei*.

Como base referencial para comparações de resultados, Iwakiri et al. (2010), encontraram para painéis LVL de *Schizolobium amazonicum* e *Pinus taeda*, valores de MOE perpendicular de 5.157 MPa e 3.944 MPa, respectivamente. Cabe ressaltar que estas espécies apresentam menor massa específica da madeira em relação às espécies de Eucalipto. Pio et al. (2012) obteve para painéis LVL de *Eucalyptus grandis* produzidos com lâminas de árvores com 15 e 20 anos de idade, valores de MOE de 9.411 MPa e 9.884 MPa, respectivamente. Lima et al. (2013) encontraram para três espécies de madeiras tropicais – *Cordia goeldiana*, *Parkia gigantocarpa* e *Brosimum parinarioides*, valores de MOE perpendicular de 5.473, 3.206 e 5.145 MPa, respectivamente. Neste estudo, os valores médios obtidos variaram de 12.532 MPa para *E. deanei* e 22.259 MPa para *E. viminalis*. Portanto, os resultados obtidos neste estudo foram bem superiores aos valores mencionados por autores.

Para o MOR perpendicular, os painéis produzidos com diferentes formulações apontaram diferença significativa apenas para a espécie *E. viminalis*. A formulação (A) com maior teor de sólidos da batida de cola apresentou maior média de MOR em relação à formulação (B). Este resultado indica a influência positiva da maior proporção de resina em relação a outros componentes da batida de cola. Para as demais espécies não foram constatadas diferenças significativas entre as diferentes formulações da batida de cola, o que significa vantagens na relação custo benefício.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as espécies, com maior valor médio de MOR obtido para os painéis de *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. phaeotricha*, *E. robusta*, *E. globulus* e *E. deanei*. Já, para os painéis produzidos com a formulação (B), os painéis de *E. viminalis*, *E. saligna*, *E. phaeotricha*, *E. robusta* e *E. globulus*, apresentaram médias estatisticamente iguais entre si, e superiores em relação aos painéis de *E. deanei*. Da mesma forma como foi observado para o MOE e MOR na direção paralela ao plano do painel (*Edge wise*), a menor massa específica dos painéis de *E. deanei* contribuiu para a redução nos valores de MOE e MOR perpendicular.

Como referências comparativas, Pio et al. (2012) obteve para painéis LVL de *Eucalyptus grandis* produzidos com lâminas de árvores com 15 e 20 anos de idade, valores de MOR de 89 MPa e 113 MPa, respectivamente. Lima et al. (2013) encontraram para três espécies de madeiras tropicais – *Cordia goeldiana*, *Parkia gigantocarpa* e *Brosimum parinarioides*, valores de MOR perpendicular de 96, 65 e 81 MPa, respectivamente. Neste estudo, os valores médios obtidos variaram de 92 MPa para *E. deanei* e 161 MPa para *E. viminalis*, sendo superiores em relação aos resultados mencionados por autores.

Resistência da linha de cola

Nas Tabelas 4 e 5 estão apresentados os valores médios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento e percentagens de falhas na madeira, nos testes seco e de fervura, obtidos para os painéis LVL das seis espécies estudadas.

Os resultados de cisalhamento da linha de cola no teste seco (Tabela 4) dos painéis produzidos com diferentes formulações apontaram diferença significativa apenas para a espécie *E. globulus*. A formulação (B) com menor teor de sólidos da batida de cola apresentou maior resistência ao cisalhamento em relação à formulação (A). Este resultado é contraditório tendo em vista que a formulação (B) é composta com maior proporção de resina em relação à formulação (A). Esta diferença pode estar relacionada à composição química da madeira como especificidade desta espécie de Eucalipto, tendo em vista que a outra a variável que é a massa específica da madeira que poderia ser fator de influência, é muito próxima das outras duas espécies estudadas. Para as demais espécies

não foram constatadas diferenças significativas entre as diferentes formulações da batida de cola, o que significa vantagens em termos de custo benefício.

Tabela 4. Resultados de cisalhamento da linha de cola – teste seco.

Table 4. Results of glue line shear strength – dry test.

Espécie	Cisalhamento Seco			
	Tensões FA / MPa	Tensões FB / MPa	Falhas FA / %	Falhas FB / %
<i>E. viminalis</i>	3,17 A a (14,99)	3,77 AB a (12,89)	30,36	28,80
<i>E. saligna</i>	3,34 A a (24,27)	3,15 BC a (23,59)	46,00	72,33
<i>E. globulus</i>	3,03 A b (11,59)	4,59 A a (46,96)	37,67	50,00
<i>E. phaeotricha</i>	2,70 A a (15,22)	2,61 C a (11,61)	30,5	33,55
<i>E. robusta</i>	3,28 A a (29,63)	2,78 C a (18,29)	42,73	51,00
<i>E. deanei</i>	2,58 A a (21,53)	2,45 C a (32,14)	52,00	57,50

FA/FB: formulação A e B; Médias seguidas de mesma letra (maiúscula vertical e minúscula horizontal) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de significância. Valores entre parênteses equivalem ao coeficiente de variação.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre as espécies. Já, para os painéis produzidos com a formulação (B), foram constatadas diferenças significativas entre as espécies, com maiores valores médios obtidos para os painéis de *E. globulus* e *E. viminalis*, seguidas de *E. saligna*, *E. robusta*, *E. phaeotricha*, e *E. deanei*.

Como base referencial para comparações de resultados, Lima et al. (2013) encontraram para três espécies de madeiras tropicais – *Cordia goeldiana*, *Parkia gigantocarpa* e *Brosimum parinarioides*, valores de tensões de cisalhamento de 5.15, 4.04 e 5.17, respectivamente. Já, Iwakiri et al. (2008) encontraram para painéis LVL de *E. grandis* e *E. dunnii*, valores médios de 6,58 MPa e 2,82MPa, respectivamente. Neste estudo, os valores médios de cisalhamento variaram de 2,45 MPa para *E. deanei* e 4,59 MPa para *E. globulus*, sendo estes valores inferiores aos apresentados pelos autores mencionados, com exceção aos painéis de *E. grandis*. Entretanto, os valores obtidos para todas as espécies de *Eucalyptus*, objetos deste estudo, atenderam ao requisito mínimo de 1 MPa exigido pela norma EN (1993).

Com relação ao percentual de falhas na madeira, os valores médios variaram de 30,36% a 52% para os painéis produzidos com a formulação (A) e de 28,80% a 72,33% para os painéis produzidos com a formulação (B). Os painéis de *E. saligna*, *E. globulus*, *E. robusta* e *E. deanei* apresentaram maiores percentuais de falhas na madeira.

No teste de fervura (Tabela 5), os resultados de cisalhamento da linha de cola dos painéis produzidos com diferentes formulações apontaram diferença significativa apenas para a espécie *E. deanei*. A formulação (A) com maior teor de sólidos da batida de cola apresentou maior resistência ao cisalhamento em relação à formulação (B), comprovando a influência positiva da maior proporção de resina na batida de cola da formulação A. Para as demais espécies não foram constatadas diferenças significativas entre as diferentes formulações da batida de cola, o que significa vantagens na relação custo benefício.

Para os painéis produzidos com a formulação (A), as espécies de *E. saligna*, *E. viminalis*, *E. robusta*, *E. deanei* e *E. phaeotricha* apresentaram médias estatisticamente iguais entre si, sendo que a espécie *E. saligna* apresentou média estatisticamente superior em relação a *E. globulus*. Já, para os painéis produzidos com a formulação (B), a espécie *E. viminalis* apresentou média estatisticamente igual em relação a *E. robusta*, *E. saligna* e *E. phaeotricha*, e superior em relação a *E. globulus* e *E. deanei*.

Com relação aos resultados apresentados na literatura, Iwakiri et al. (2008) encontraram para painéis LVL de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* valores médios de tensões de cisalhamento de 4,38 MPa e 1,63 MPa, respectivamente. Lima et al. (2013) encontraram para três espécies de madeiras tropicais – *Cordia goeldiana*, *Parkia gigantocarpa* e *Brosimum parinarioides*, valores de tensões de cisalhamento de 3.47, 3.24 e 3.54, respectivamente. Neste estudo, os valores médios obtidos

variaram de 1,12 MPa para *E. deanei* e 1,92 MPa para *E. saligna*, sendo inferiores aos valores referenciados pelos citados autores. Entretanto, os valores obtidos para todas as espécies de *Eucalyptus* objetos deste estudo, atenderam ao requisito mínimo de 1 MPa exigido pela norma EN (1993).

Tabela 5. Resultados de cisalhamento da linha de cola – teste fervura.

Table 5. Results of glue line shear strength – boil test.

Espécie	Cisalhamento fervura			
	Tensões FA / MPa	Tensões FB / MPa	Falhas FA / %	Falhas FB / %
<i>E. viminalis</i>	1,75 AB a (34,48)	1,67 A a (23,67)	25,00	28,00
<i>E. saligna</i>	1,92 A a (16,51)	1,48 AB a (30,48)	51,67	21,67
<i>E. globulus</i>	1,34 B a (24,88)	0,97 B a (47,84)	11,33	19,54
<i>E. phaeotricha</i>	1,35 AB a (42,76)	1,22 AB a (39,96)	4,20	20,78
<i>E. robusta</i>	1,66 AB a (36,66)	1,54 AB a (20,16)	7,85	31,67
<i>E. deanei</i>	1,66 AB a (14,49)	1,12 B b (36,39)	27,67	7,13

FA/FB: formulação A e B; Médias seguidas de mesma letra (maiúscula vertical e minúscula horizontal) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 95% de significância. Valores entre parênteses equivalem ao coeficiente de variação.

Com relação ao percentual de falhas na madeira, os valores médios variaram de 4,20% a 51,67% para os painéis produzidos com a formulação (A) e de 7,13% a 31,67% para os produzidos com a formulação (B). Apenas os painéis de *E. saligna* apresentaram percentual de falhas na madeira superior a 50%.

CONCLUSÕES

De uma forma geral, o aumento no teor de sólidos da cola (formulações A e B) não influenciou de forma significativa nas propriedades mecânicas dos painéis LVL, podendo ser utilizada a formulação que apresente melhor relação custo benefício.

Os painéis de todas as seis espécies de *Eucalyptus* produzidos com as duas formulações (A e B), apresentaram valores médios de resistência ao cisalhamento da linha de cola superior ao requisito mínimo de 1,0 MPa, exigido pela norma EN 314-2.

O *E. viminalis* foi a espécie que apresentou melhor desempenho nos ensaios de flexão estática e o *E. deanei* foi a que apresentou pior desempenho entre as espécies estudadas.

Com exceção do *E. deanei*, todas as demais espécies estudadas indicaram potencial para produção de painéis LVL.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDWIN, R. F. *Plywood and veneer-based products manufacturing practices*. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 388 p.

BORTOLETTO JR., G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 63, p. 65-78, 2003.

EN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN 310:** Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. Lisboa, 2002.

EN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN 314-1:** plywood, bonding quality, part 1: test methods. Brussels. 2004.

EN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN 314-2: plywood, bonding quality, part 2: determination of shear bonding strength.** Brussels. 1993.

GUIMARÃES JR., J. B.; MENDES, L. M. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de Eucalipto: Estudo de caso de espécies e procedências. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 10-18, 2009.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PINTO, J. A.; VIANA, L. C.; SOUZA, M. M.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Produção de painéis laminados unidirecionais – LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 557-563, 2010.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G.; TORQUATO, L. P.; BRONOSKI, M.; NISHIDATE, M. M. Produção de painéis laminados unidirecional – LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunni* Maiden. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 15, n. 2, p. 1-7, 2008.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R.; SILVA, L. S. Evaluation of the use potential of nine species of genus *Eucalyptus* for production of veneers and plywood panels. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 2, p. 263-269, 2013.

LIMA, N. N.; MENDES, L. M. M.; SÁ, V. A.; BUFALINO, L. Propriedades físico-mecânicas de painéis LVL produzidos com três espécies amazônicas. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 407-413, 2013.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades físicas e mecânicas de painéis LVL de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 559-566, 2011.

PIO, N. S.; KEINERT JR., S.; IWAKIRI, S.; CUNHA, U. S.; ROCHA, M. P.; LUCAS FILHO, F. C. Análise da resistência e elasticidade em flexão estática em painéis LVL de *Eucalyptus grandis* produzidos com lâminas pré-classificadas. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 11-20, 2012.

MATOS, J. L. M. Estudos sobre produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L. 1997. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1997.

MELO, R. R. Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke). 2012. 166 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília. Brasília, 2012.

PEACE, D. A. **Panels: products, applications and production trends.** New York: M. Freeman, 1994. 254 p.

PEDROSA, A. L. Desempenho estrutural de vigas “I” constituídas por PLP e compensado de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunni* Maiden e OSB de *Pinus* spp. 2003. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York: V. N. Reinhold, 1991. 494 p.

Recebido em 04/12/2014

Aceito para publicação em 05/11/2015