

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COMPOSIÇÕES DE LÂMINAS EM COMPENSADOS ESTRUTURAIS DE *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*

Setsuo Iwakiri¹, Ingrid Raquel Nielsen² e Reinaldo A. R. Alberti²

RESUMO: Nesta pesquisa foram avaliadas as influências de diferentes composições de lâminas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* sobre o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática de compensados estruturais. O MOE e MOR das chapas de eucalipto com três lâminas centrais dispostas no sentido paralelo entre si e em relação à capa, foram superiores em relação às chapas produzidas com lâminas de pinus, com mistura de lâminas de pinus e eucalipto e também em relação à composição de lâminas cruzadas. A resistência e rigidez das chapas no sentido paralelo às fibras ficaram em torno de 60% maiores que no sentido perpendicular às fibras. A maior resistência da madeira de eucalipto em relação à madeira de pinus influenciou positivamente na composição dos compensados.

PALAVRAS-CHAVE: Compensado estrutural, orientação de lâminas, resistência do painel.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF VENEER COMPOSITION IN STRUCTURAL PLYWOOD OF *Pinus elliottii* and *Eucalyptus saligna*

ABSTRACT: This research evaluated the influences of veneer composition of *Pinus elliottii* and *Eucalyptus saligna* on the modulus of elasticity and modulus of rupture of the structural plywood. The MOE and MOR of the board produced with *E. saligna* including three veneers of the central layers in parallel direction, were higher than those of boards produced with *P. elliottii*, with mixture of *Pinus* and *Eucalyptus* veneer, and also higher than those board of conventional composition. The MOE and MOR of the boards in the grain parallel direction were around 60% higher than those of the boards with veneer at cross grain direction. The high strenght of eucalipt wood's in comparison to pine increased the board strenght.

KEY WORDS: Structural plywood, veneer orientation, board strenght.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista as dificuldades cada vez maiores na obtenção de matéria-prima para produção de lâminas e compensados extraída de espécies tradicionais provenientes de florestas nativas, surgiu a necessidade de utilização de espécies alternativas para suprir a demanda por

madeiras de boa qualidade para indústrias de compensados no Brasil.

Espécies como *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp apresentam grande potencial para suprir esta demanda em função das boas características da sua madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil. Pesquisas

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal/UFPR, Av. Lothário Meissner, 3400, Jardim Botânico, Curitiba-PR, CEP. 80.210-170, setsuo@cwmatrix.com.br.

² Aluno do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal-UFPR, Av. Lothário Meissner, 3.400, Jardim Botânico, Curitiba-PR, CEP. 80.210-170, setsuo@cwmatrix.com.br.

sobre o comportamento da madeira destas espécies para laminação e produção de painéis compensados têm sido amplamente realizadas no Brasil e as lâminas de pinus já vêm sendo utilizadas pelas indústrias, desde o início da década de 90. As lâminas faqueadas de algumas espécies de *Eucalyptus* apresentam grande potencial para utilização como capa de compensados decorativos, tendo em vista os aspectos estéticos em relação à cor e Figura.

Os painéis compensados de madeira podem ser produzidos como de uso geral, industrial, decorativo e estrutural/naval, em função do tipo de adesivo e lâminas utilizadas na sua composição. O compensado estrutural/naval caracteriza-se pela utilização de lâminas finas em grande número de camadas com colagem à base de resina fenol-formaldeído, o que confere aos painéis alta resistência mecânica e resistência à umidade (Baldwin, 1975; Sellers, 1985; Tsoumis, 1991).

O princípio de construção de um painel compensado, baseado na laminação cruzada e restrição da linha de cola, procura balancear os diferentes comportamentos físico-mecânicos das lâminas de camadas adjacentes, dispostas nos sentidos longitudinal e perpendicular ao plano da chapa (Suchsland, 1972; Bodig e Jayne, 1982; Keinert Jr., 1984).

De acordo com Suchsland (1972), o balanceamento estrutural de um compensado com número ímpar de camadas pode ser alcançado, mesmo utilizando lâminas de espécies e espessuras diferentes, desde que o plano de simetria seja mantido, para o equilíbrio de parâmetros elásticos entre as lâminas que constituem o painel.

Este trabalho tem como objetivos:

- produção em laboratório de chapas de compensados estruturais com lâminas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* e mistura de ambas as espécies;

- determinação das propriedades de módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão

estática nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras;

- avaliação da influência de diferentes composições de lâminas no compensado quanto ao equilíbrio estrutural do painel.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas, nesta pesquisa, lâminas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*, com espessura média de 1,65mm e 1,8mm, respectivamente e com teor de umidade médio de 4%. A composição do adesivo para a colagem de lâminas, em partes por peso (p/p), foi a seguinte: resina fenol-formaldeído (100 p/p), albex-7 (10 p/p), farinha de trigo (5 p/p) e água (10 p/p). Foram aplicadas 380g/m² de adesivo por face dupla de lâmina. As variáveis estabelecidas para o ciclo de prensagem foram as seguintes: temperatura (140°C), pressão (12kgf/cm²), tempo de prensagem (9 a 11,5 min. - em função da espessura da chapa).

O delineamento experimental está apresentado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 1. Foram produzidas quatro chapas por tratamento, perfazendo um total de 24 chapas, com as dimensões de 50 x 50 cm e espessura variável em função das diferentes composições de lâminas de pinus e eucalipto.

Tabela 1. Delineamento experimental
Table 1. *Experimental chart*

Tratamento	Composição das chapas
T1	Pl Pt Pl Pt Pl Pt Pl
T2	Pl Pt Pl Pl Pl Pt Pl
T3	El Et El Et El Et El
T4	El Et El El El Et El
T5	Pl Et Pl Pl Pl Et Pl
T6	El Pt El El El Pt El

Pl - lâminas de pinus (longitudinal)

Pt - lâminas de pinus (transversal)

El - lâminas de eucalipto (longitudinal)

Et - lâminas de eucalipto (transversal)

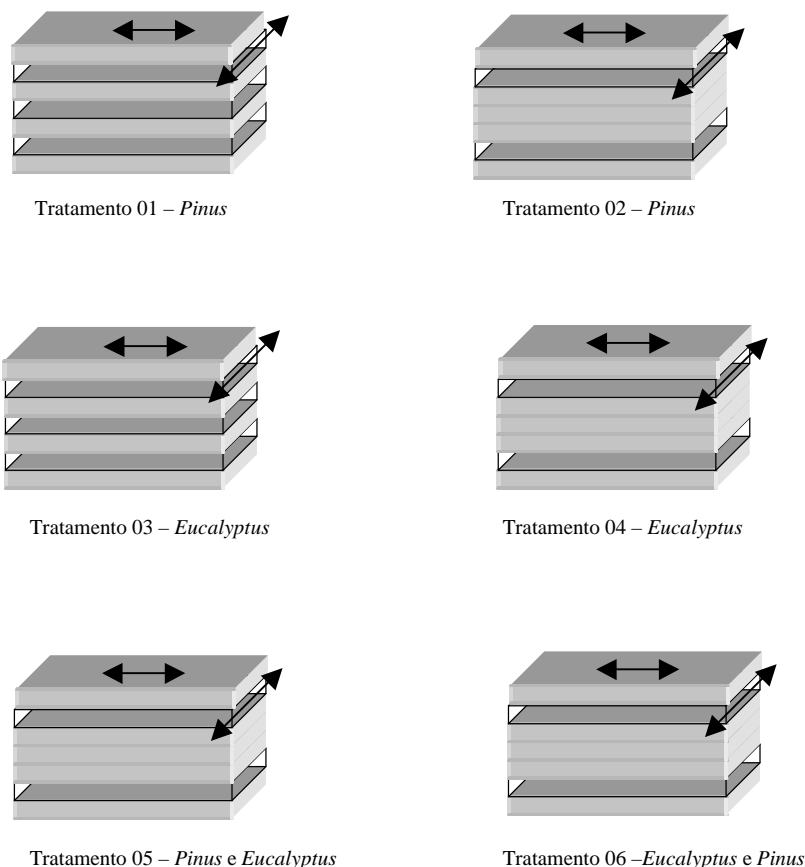


Figura 1. Disposição das lâminas na composição dos painéis compensados de sete camadas
Figure 1. Veneer direction in the composition of seven-layer plywood

Após a prensagem, as chapas foram acondicionadas na câmara de climatização até atingir a umidade de equilíbrio na faixa de 12%. Para chapas de cada tratamento, foram retirados seis corpos de prova no sentido paralelo às fibras e seis no sentido perpendicular às fibras, com as dimensões de 7,5 x 30cm. Os ensaios de flexão estática para a determinação de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) foram realizados de acordo com a recomendação D 805-63 da ASTM (1971).

A análise estatística dos resultados foi realizada pela análise de variância, e empregou-

se o Teste de Tukey para a comparação de médias dos tratamentos, a 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e respectivos desvios padrões para o módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática, nos sentidos paralelo (par) e perpendicular (perp) às fibras, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática, nos sentidos paralelo (par) e perpendicular (perp) às fibras

Table 2. Average values of modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) in static bending, through parallel and cross grain direction

Propriedades Analisadas	N ^o de C.P.	Tratamentos					
		1	2	3	4	5	6
MOE par (kgf/cm ²)	6	99.358,3 <i>19.024,86</i>	72.293,3 <i>5.990,96</i>	122.016,7 <i>4.550,79</i>	139.866,7 <i>16.896,47</i>	91.311,7 <i>16.828,06</i>	127.933,3 <i>9.050,45</i>
MOR par (kgf/cm ²)	6	690,33 <i>118,11</i>	727,15 <i>61,86</i>	994,90 <i>153,79</i>	1.167,95 <i>164,73</i>	692,08 <i>105,25</i>	893,73 <i>81,51</i>
MOE perp (kgf/cm ²)	6	38.461,7 <i>5.751,42</i>	34.590,0 <i>5.930,15</i>	64.163,3 <i>12.419,35</i>	63.808,3 <i>3.724,24</i>	78.983,3 <i>5.575,14</i>	35.241,7 <i>15.747,34</i>
MOR perp (kgf/cm ²)	6	406,53 <i>96,62</i>	389,55 <i>83,95</i>	689,33 <i>165,73</i>	553,27 <i>51,34</i>	742,62 <i>61,57</i>	378,20 <i>119,44</i>

Negrito - valor médio das propriedades

Itálico - desvio padrão

3.1. Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura - paralelo às fibras

Os valores médios de MOE paralelo às fibras variaram de 72.293,3 a 139.866,7 kg/cm², e o MOR de 690,3 a 1.167,9 kg/cm² (Tabela 2). Na Figura 2 estão apresentados graficamente os valores médios de MOE e MOR para os seis tratamentos analisados.

O MOE das chapas compostas com lâminas de pinus, com a orientação das três lâminas centrais no sentido paralelo à grã (T2), foi menor em relação às chapas compostas com lâminas cruzadas (T1). Os valores do MOR dos tratamentos (T1 e T2) foram estatisticamente iguais.

Nas mesmas condições anteriores, o MOE e o MOR das chapas produzidas com lâminas de eucalipto (T3 e T4) não foram afetados significativamente com a orientação de três lâminas centrais no sentido paralelo à grã.

Com relação à mistura de lâminas de pinus e eucalipto, conforme as composições mostradas na Figura 1, os compensados constituídos de lâminas de eucalipto na capa (T6) apresentaram maiores MOE do que aqueles formados por lâminas de pinus na capa (T5). Quanto ao MOR, os valores foram estatisticamente iguais, embora tenha sido evidenciada uma tendência de aumento nas chapas com lâminas de eucalipto na capa.

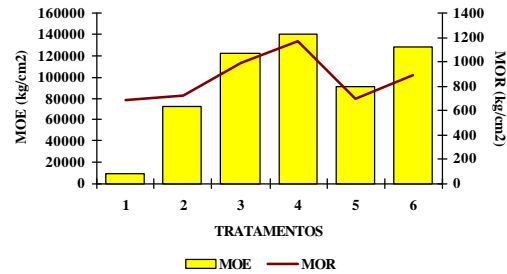


Figura 2. Gráfico ilustrativo do módulo de elasticidade e módulo de ruptura paralelo às fibras

Figure 2. Graphic showing the modulus of elasticity and modulus of rupture -parallel to grain direction

A análise global dos valores médios dos seis tratamentos evidenciou que tanto o MOE como o MOR das chapas de eucalipto com as três lâminas centrais paralelas (T4) foram maiores que os valores obtidos para as chapas de pinus e com mistura de lâminas de pinus e eucalipto, nas diferentes composições estudadas.

Observa-se também que o MOE e MOR das chapas no sentido paralelo à grã são em torno de 60% maiores em relação ao sentido perpendicular, demonstrando a influência da maior resistência da madeira no sentido paralelo à grã em relação ao sentido perpendicular, na composição do painel.

3.2. Módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) - sentido perpendicular

Os valores médios obtidos para o MOE no sentido perpendicular às fibras variaram de 34.590,0 a 78.983,3 kgf/cm², e o MOR de 378,2 a 689,3 kgf/cm² (Tabela 2). Na Figura 3 estão apresentados, graficamente, os valores médios de MOE e MOR para os 6 tratamentos.

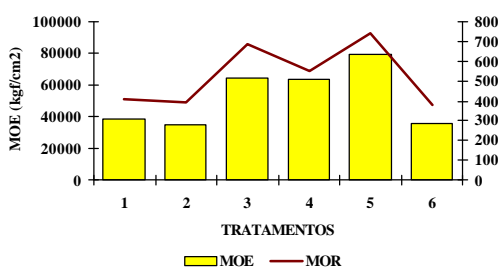


Figura 3. Gráfico ilustrativo do módulo de elasticidade e módulo de ruptura perpendicular às fibras
Figure 3. Graphic showing the modulus of elasticity and modulus of rupture – cross grain direction

Os valores médios de MOE e MOR das chapas de pinus (T1 e T2) foram estatisticamente iguais, o que indica que não houve a influência da disposição das três lâminas centrais no mesmo sentido da grã em relação à laminação cruzada. A mesma relação foi observada entre as chapas compostas de lâminas de eucalipto (T3 e T4).

Para as chapas compostas com mistura de lâminas de pinus e eucalipto, o tratamento constituído de lâminas de pinus na capa e nas três camadas centrais (T5) apresentou valores de MOE e MOR superiores ao tratamento 6, com lâminas de eucalipto na capa e nas três camadas centrais. O resultado evidencia uma maior resistência da madeira de eucalipto e da sua disposição no sentido longitudinal.

Na análise global dos seis tratamentos, as chapas compostas com lâminas de pinus na capa e nas três camadas centrais (T5) apresentaram valores superiores de MOE e MOR, em relação aos demais tratamentos.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- A orientação das três lâminas centrais no sentido paralelo à grã não influenciou nos valores de MOR (par), tanto para chapas de pinus como para de eucalipto em relação à laminação cruzada. Para o MOE (par), a orientação das três lâminas centrais no sentido paralelo à grã contribuiu para o aumento desta propriedade nas chapas de pinus, enquanto que, para as chapas de eucalipto, os resultados foram estatisticamente iguais.

- Nas chapas produzidas com mistura de lâminas de pinus e eucalipto, a utilização de lâminas de eucalipto na capa melhorou o MOE (par) e o MOR (par), demonstrando a influência da maior resistência da madeira de eucalipto em relação à de pinus.

- Para o MOE e MOR perpendicular à grã, as chapas de eucalipto apresentaram valores médios superiores às chapas de pinus. Não se constatou diferenças entre laminação cruzada e três lâminas centrais dispostas no mesmo sentido, para as duas espécies estudadas.

- Com a mistura de espécies, as chapas produzidas com lâminas de pinus na superfície apresentaram melhores resultados de MOE e MOR perpendicular às fibras, que as chapas com lâminas de eucalipto na superfície. Esta diferença pode ser atribuída à maior resistência da lâmina de eucalipto disposta no sentido longitudinal na segunda camada superior e inferior das chapas.

- O MOE e MOR das chapas no sentido paralelo às fibras foram em torno de 60% maiores que no sentido perpendicular, demonstrando a influência da direção da grã na resistência da madeira.

5. AGRADECIMENTO

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Alba Química S.A, pela doação do adesivo utilizado nesta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Structural Sandwich Construction; Wood; Adhesives**. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D 805-63. Philadelphia. 1971.

BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326p.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. 711p.

KEINERT Jr, S. Influência de diversos parâmetros nas propriedades de chapas de partículas. **Paraná Florestal**, v.2, n.3, p.19-23, abr./jun. 1984.

SELLERS JR, T. **Plywood and Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661p.

SUCHSLAND, O. Warping of furniture panels. **Agric. Exp. Station**, Michigan, 1972. (Extension Bulletin E-745).

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood** - structure, properties, utilization. New York. Chapman & Hall, 1991. 494p.