

Produção de painéis laminados unidirecional – LVL com madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden

**Setsuo Iwakiri¹, Jorge Luis Monteiro de Matos¹, José Guilherme Prata²
Luciane Paes Torquato², Marilene Bronoski², Marina Mieko Nishidate²**

¹ Professor do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal - UFPR

² Alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – UFPR

Recebido em 13 de Março de 2007

Resumo

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a qualidade dos painéis laminados unidirecional – LVL produzidos com madeiras de *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. dunnii* Maiden. Os painéis foram produzidos com três diferentes composições, sendo: (i) lâminas selecionadas aleatoriamente; (ii) lâminas mais densas nas faces e menos densas no miolo; e (iii) lâminas de *E. grandis* / *E. dunnii* selecionadas aleatoriamente nas faces e *P. taeda* no miolo. Os resultados demonstraram maior resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento dos painéis de *E. grandis* em relação aos painéis de *E. dunnii*. Entretanto, os painéis de *E. dunnii* apresentaram maiores valores de MOE e MOR em flexão estática. A composição com lâminas mais densas nas faces resultou em maiores valores de MOE e MOR nos painéis de *E. dunnii*. Os resultados gerais desta pesquisa indicam que as madeiras de *E. grandis* e *E. dunnii* apresentam grande potencial para produção de painéis laminados unidirecional – LVL.

Palavras chaves: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, painéis LVL.

Manufacture of laminated veneer lumber – LVL from *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden and *Eucalyptus dunnii* Maiden woods

Abstract

This paper was developed to evaluate the quality of laminated veneer lumber – LVL manufactured from woods of *E. grandis* Hill ex Maiden and *E. dunnii* Maiden. The boards were produced with three different compositions, as follows: (i) randomly selected veneer in the face; (ii) higher density veneer in the face and lower density veneer in the core; and (iii) randomly selected veneers of *E. grandis* and *E. dunnii* in the face and veneers of *P. taeda* in the core. The results showed higher glue line shear strength of the boards of *E. grandis* in comparison of the boards of *E. dunnii*. However, the boards of *E. dunnii* showed higher values of the MOE and MOR in static bending tests. The composition with higher density veneer in the face increases the values of MOE and MOR of the boards of *E. dunnii*. The overall results of this research indicate that wood of *E. grandis* and *E. dunnii* presents high potential to production of laminated veneer lumber – LVL.

Key words: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnii*, LVL.

Introdução

Tendo em vista o aumento significativo na demanda pela madeira de pinus a partir da década de 90 e a falta de novos plantios para reposição florestal em escalas compatíveis para equilíbrio da relação oferta / demanda, as indústrias de base florestal têm procurado por alternativas que possam suprir a falta de madeira de pinus para os próximos anos.

Dentro deste cenário, as empresas florestais têm encontrado nas espécies do gênero eucalipto, alternativas para fornecimentos de matéria-prima. O *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden é uma espécie que já vem sendo utilizada, ainda que em pequena escala, para produção de madeira serrada, laminas e compensados (Silva, 2002). A outra espécie promissora que apresenta grandes vantagens quanto aos aspectos silviculturais é o *Eucalyptus dunnii* Hill ex Maiden. Trata-se de uma espécie de rápido crescimento e que se adaptou satisfatoriamente nas regiões de ocorrência de geadas e inverno rigoroso, como nos Estados da região sul do Brasil (Rocha, 2000).

As densidades de média a baixa das espécies de florestas plantadas e os pequenos diâmetros deixam de ser restrições para uso estrutural, através do emprego de tecnologia de colagem e processos de fabricação de produtos de madeira reconstituída, como painéis laminados de madeira.

O painel laminado unidirecional é um produto desenvolvido nos EUA na década de 70, com denominação comercial de “LVL – laminated veneer lumber”. A sua aplicação destina-se principalmente para uso estrutural como: pisos de carrocerias, vagões de trens, escadas, flanges de vigas em “I”, entre outras, em função da maior resistência na direção longitudinal ao plano do painel (Iwakiri, 2005).

O princípio de construção do painel laminado unidirecional difere ao do painel compensado multilaminado, pela disposição das lâminas na mesma direção e não a da laminação cruzada. Desta forma, a resistência do painel na direção longitudinal será maior, possibilitando seu uso em aplicações que requeiram maior resistência à flexão estática (Tsoumis, 1991; Baldwin, 1993).

O processo de produção de painel laminado unidirecional consiste na colagem de todas as lâminas na mesma direção da grã, com resina fenol-formaldeído e

consolidado através da aplicação de calor e pressão numa prensa quente (Iwakiri, 2005). Segundo Marra (1992), as resinas fenol-formaldeído, melamina-formaldeído, resorcina-formaldeído e isocianato (MDI) são as mais adequadas para produção de painéis de madeira para fins estruturais, em função de suas características de maior resistência e durabilidade em condições extremas de exposição à umidade.

O LVL foi introduzido no mercado como um produto alternativo para uso estrutural, e possibilitou o desenvolvimento de vigas com formato em “I”, denominado de “I – joist”, hoje amplamente empregado nos EUA para montagem de estruturas de madeira. A sua principal vantagem é a economia no consumo de madeira e maior relação peso/resistência das peças (Pedrosa, 2003). No Brasil, várias pesquisas têm sido realizadas, no entanto, a sua aplicação como elemento estrutural composto não foi ainda viabilizada.

De acordo com Pease (1994, apud Matos, 1997), os painéis LVL apresentam as seguintes vantagens em comparação a madeira sólida: (i) maior resistência – a estrutura reconstituída dos painéis com processo de classificação das lâminas pode conferir propriedades de resistência que podem ser calculadas com precisão; (ii) flexibilidade dimensional – os painéis podem ser fabricados com qualquer largura e comprimento desejado; (iii) utilização de grande variedade de espécies florestais.

Matos (1997), estudando o comportamento de painéis “LVL” produzidos com lâminas de *Pinus taeda* L., classificadas pelo método não destrutivo utilizando aparelho – “stress wave timer”, constatou que a utilização de lâminas com maior módulo de elasticidade dinâmico nas faces do painel resultam em maior módulo de ruptura em flexão estática. O autor obteve valores de módulo de elasticidade variando na faixa de 56.883 a 64.164 kgf/cm², e módulo de ruptura na faixa de 374 a 401 kgf/cm².

Na pesquisa realizada por Pedrosa (2004), os painéis “LVL” produzidos com lâminas de *Eucalyptus dunnii* Maiden, apresentaram valores médios de módulo de elasticidade de 133.659 kgf/cm² e módulo de ruptura de 915 kgf/cm².

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar o potencial de utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden para fabricação de painéis laminados unidirecional com diferentes composições estruturais de lâminas.

Material e Métodos

Foram utilizadas nesta pesquisa, lâminas de madeiras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden, obtidas diretamente nas linhas de laminação das indústrias localizadas respectivamente nos municípios de Canoinhas – SC e Telêmaco Borba – PR. As lâminas de *Pinus taeda* L. utilizadas no miolo de painéis compostos foram obtidas numa laminadora localizada no município de Jaguariaíva – PR.

As lâminas com espessura de 2,0 mm e dimensões laterais de 50 x 50 cm foram secas numa estufa de laboratório com circulação forçada de ar até atingir teor de umidade em torno de 8%. A seguir, foram determinadas as densidades das lâminas para composições diferenciadas dos painéis.

Tabela 1. Delineamento experimental.

Table 1. Experimental design.

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO DO PAINEL
TG	Cinco lâminas de <i>E. grandis</i> selecionadas aleatoriamente
TG+	Duas lâminas de <i>E. grandis</i> mais densas nas faces e três lâminas menos densas no miolo.
TG/P	Duas lâminas de <i>E. grandis</i> nas faces e três lâminas de <i>P. taeda</i> no miolo, selecionadas aleatoriamente.
TD	Cinco lâminas de <i>E. dunnii</i> selecionadas aleatoriamente.
TD+	Duas lâminas de <i>E. dunnii</i> mais densas nas faces e três lâminas menos densas no miolo.
TD/P	Duas lâminas de <i>E. dunnii</i> nas faces e três lâminas de <i>P. taeda</i> no miolo, selecionadas aleatoriamente.

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 quatro corpos de prova por painel para ensaios de flexão estática e dez corpos de prova por painel para ensaios de resistência da linha de cola nos teste seco e de fervura. Os ensaios foram realizados de acordo com a Norma Européia EN 314 – 1993 para resistência da linha de cola e EN 310 – 1993 para flexão estática.

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente através de ANOVA e teste de Tukey, ao

Para a colagem de lâminas foi utilizada a resina fenol-formaldeído (FF) com as seguintes especificações técnicas: teor de sólidos de 49% (1g/3h/103°C), viscosidade Brookfield de 600 cP (20°C), pH de 11,5 (20°C) e gel time de 8 minutos (121°C). O adesivo foi preparado numa bateadeira de laboratório com a seguinte formulação: Resina FF = 100 partes, Extensor (trigo) = 10 partes e água = 10 partes. O adesivo foi espalhado manualmente com uso de espátula sobre a superfície da lâmina com gramatura correspondente a 360 g/m² (linha dupla).

Após a montagem e tempo de montagem de 40 minutos, os painéis foram prensados à temperatura de 140° C, pressão específica de 10 kgf/cm² e tempo de permanência de 10 minutos. Foram produzidos dois painéis para cada tratamento, conforme delineamento experimental apresentado na Tabela 1.

nível de probabilidade de 95%.

Resultados e Discussão

Densidade das lâminas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden

Os resultados referentes às densidades das lâminas de *E. grandis* e *E. dunnii* estão apresentados na Tabela 2.

Os valores médio e máximo da densidade das lâminas de *E. dunnii* foram bem superiores em comparação às lâminas de *E. grandis*, conforme os resultados de estudos

já realizados por vários pesquisadores como Pedrosa (2003), Rocha (2000) e Silva (2002). A maior densidade das lâminas de *E. dunnii* deverá influenciar na formação da ligação adesiva entre as lâminas, em função da maior dificuldade na penetração do adesivo na madeira, além da geração de maior pressão interna de vapor durante o processo de prensagem à alta temperatura. Por outro lado, a maior densidade das lâminas de *E. dunnii* deverá contribuir para o aumento da resistência à flexão estática dos painéis laminados. A densidade média das lâminas de *Pinus taeda*, selecionadas aleatoriamente e utilizadas no miolo dos painéis foi de 0,425 g/cm³.

Tabela 2. Densidade das lâminas de *E. grandis* Hill ex Maiden e *E. dunnii* Maiden.

Table 2. Density of the veneer of *E. grandis* Hill ex Maiden and *E. dunnii* Maiden.

Densidade (g/cm ³)	Espécie	
	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>
Valor médio	0,487	0,593
Valor mínimo	0,383	0,456
Valor máximo	0,554	0,738
(+) Densas	0,500 a 0,554	0,650 a 0,738
(-) Densas	0,480 a 0,383	0,590 a 0,456

(+), (-): faixas de densidades maiores e menores utilizadas na composição dos painéis.

superiores em comparação aos painéis de *E. dunnii*. Esta diferença pode estar relacionada à maior densidade da madeira de *E. dunnii*, o que dificulta o processo de liberação de vapor durante a prensagem dos painéis. A elevação da pressão interna de vapor na linha de cola entre as lâminas adjacentes, pode ter prejudicado parcialmente a polimerização da resina, considerando-se a mesma formulação do adesivo e tempo de prensagem empregado na colagem de painéis de *E. grandis*. Outro fator que pode ter influenciado para esta diferença é a maior densidade da madeira de *E. dunnii*, a qual, como referenciado na literatura, dificulta a penetração do adesivo na madeira em função da sua menor porosidade e permeabilidade. Entretanto, os resultados dos ensaios de flexão estática, apresentados na Tabela 4, demonstram que os valores inferiores de resistência da linha de cola dos painéis de *E. dunnii* em comparação aos painéis de *E. grandis*, não interferiram de forma negativa nos valores médios de MOE e MOR.

Resistência da Linha de cola às tensões de cisalhamento

Os valores médios e respectivos coeficientes de variação para resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento, no teste seco e de fervura dos painéis de *E. grandis* e *E. dunnii*, estão apresentados na tabela 3.

De acordo com os resultados apresentados na tabela 3, pode-se constatar que, tanto para o teste seco, quanto para o teste de fervura, os painéis produzidos com lâminas de *E. grandis* apresentaram valores médios de resistência da linha de cola numérica e estatisticamente

Para os painéis de *E. grandis*, os resultados de resistência da linha de cola, tanto para o teste seco, quanto para fervura, foram estatisticamente iguais para todos os tratamentos. Para os painéis de *E. dunnii*, verificou-se também igualdade estatística entre as médias dos tratamentos, com exceção do teste de fervura dos painéis produzidos com lâminas selecionadas aleatoriamente (TD), que apresentou valor estatisticamente inferior em relação aos demais tratamentos. Os resultados encontrados permitem afirmar que as diferentes composições dos painéis relacionadas às densidades das lâminas (TG+, TD+), e uso de lâminas de *P. taeda* no miolo do painel (TG/P, TD/P) não afetaram de forma significativa os resultados de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento.

Flexão estática

Os valores médios e respectivos coeficientes de

Tabela 3. Resultados dos ensaios de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento – teste seco e fervura.
Table 3. Results of glue line shear tests – dry and boil test.

Tratamento	Teste seco (kgf/cm)		Teste fervura (kgf/cm ²)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
TG	65,81 b	25,62	43,81 c	14,60
TG+	69,61 b	20,75	40,68 c	12,07
TG/P	69,39 b	13,37	46,30 c	13,68
TD	28,20 a	23,39	16,38 a	41,35
TD+	27,69 a	31,49	20,17 ab	26,08
TD/P	38,70 a	13,05	25,87 b	39,10

TG, TD: lâminas selecionadas aleatoriamente para *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente; TG+, TD+: lâminas mais densas nas faces e menos densas no miolo para *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente; TG/P, TD/P: lâminas de *E. grandis* e *E. dunnii* nas faces e *P. taeda* no miolo, selecionadas aleatoriamente.

variação para o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática dos painéis de *E. grandis* e *E. dunnii*, estão apresentados na Tabela 4.

Nos resultados obtidos tanto para o MOE, quanto para o MOR, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas para os painéis de *E. grandis*. Entretanto, em

Tabela 4. Resultados dos ensaios de flexão estática.
Table 4. Results of static bending tests.

Tratamento	MOE (kgf/cm ²)	CV (%)	MOR (kgf/cm ²)	CV (%)
TG	127.647 a	12,09	1.026 a	9,76
TG+	145.183 a	6,50	1.104 a	4,53
TG/P	150.458 a	7,96	1.083 a	10,62
TD	138.455 a	32,06	1.069 a	23,42
TD+	183.103 b	8,19	1.377 b	7,33
TD/P	144.242 a	9,29	925 a	18,70

TG, TD: lâminas selecionadas aleatoriamente para *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente; TG+, TD+: lâminas mais densas nas faces e menos densas no miolo para *E. grandis* e *E. dunnii*, respectivamente; TG/P, TD/P: lâminas de *E. grandis* e *E. dunnii* nas faces e *P. taeda* no miolo, selecionadas aleatoriamente.

termos de médias absolutas, os painéis produzidos com lâminas mais densas nas faces (TG+) e com lâminas de *P. taeda* no miolo (TG/P), apresentaram maiores valores de MOE e MOR em relação aos painéis produzidos com lâminas selecionadas aleatoriamente (TG).

Para os painéis de *E. dunnii*, o tratamento TD+, correspondente ao painel produzido com lâminas mais densas nas faces do painel, apresentou valor médio de MOE e MOR estatisticamente superior em comparação

aos painéis produzidos integralmente com lâminas de *E. dunnii* selecionadas aleatoriamente (TD) e com lâminas de *E. dunnii* nas faces e *P. taeda* no miolo, ambas selecionadas aleatoriamente (TD/P). Este resultado comprova o efeito das interações entre a densidade da madeira e suas propriedades elásticas e de resistência em flexão estática. As camadas externas do painel são as partes submetidas a maiores tensões de tração e de compressão em flexão estática. Para os painéis

de *E. grandis* os efeitos destas interações não foram estatisticamente significativas, e pode estar relacionada a menor densidade média e menor magnitude entre as lâminas mais densas e menos densas na composição do painel.

Entre as espécies, os painéis de *E. dunnii*, produzidos com lâminas mais densas nas camadas externas, apresentaram valor médio de MOE e MOR estatisticamente superior em comparação aos painéis de *E. grandis*, produzidos com a mesma composição de lâminas. Para os painéis produzidos com lâminas selecionadas aleatoriamente, verifica-se uma tendência de aumento nos valores médios de MOE e MOR dos painéis de *E. dunnii* em comparação aos painéis de *E. grandis*. Portanto, para os painéis compostos integralmente com lâminas de *E. grandis* e *E. dunnii*, referentes aos tratamentos TG, TG+, TD e TD+, houve a influência da maior densidade da madeira sobre os resultados de MOE e MOR em flexão estática.

Os valores de MOE e MOR dos painéis de *E. grandis* e *E. dunnii* obtidos nesta pesquisa, foram superiores aos valores encontrados por Matos (1997) para painéis produzidos com lâminas de *P. taeda*, cujos valores foram de 64.164 kgf/cm² para o MOE e 401 kgf/cm² para o MOR. Cabe ressaltar que, a densidade média das lâminas de madeira de *P. taeda* utilizadas pelo autor foi de 0,433 g/cm³, sendo inferior aos valores médios de 0,487 e 0,593 g/cm³, respectivamente para lâminas de *E. grandis* e *E. dunnii*, utilizadas nesta pesquisa.

Em comparação com os resultados obtidos por Pedrosa (2003) para painéis produzidos com lâminas de *E. dunnii*, cujos valores médios de MOE e MOR foram respectivamente de 133.659 kgf/cm² e 915 kgf/cm², verifica-se que os resultados encontrados nesta pesquisa são altamente satisfatórios. Portanto, pode-se afirmar que, as madeiras de *E. grandis* e de *E. dunnii*, apresentam grande potencial para produção de painéis laminados unidirecional.

Conclusões

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

1. Os painéis produzidos com lâminas de *E. grandis* apresentaram maiores valores de resistência da linha de cola às tensões de cisalhamento em comparação aos painéis de *E. dunnii*.

2. As diferentes composições dos painéis em termos de densidade das lâminas e uso de lâminas de *P. taeda* no miolo não interferiram nos resultados de resistência da linha de cola no teste seco, tanto para os painéis de *E. grandis*, quanto para os de *E. dunnii*. Para o teste de fervura, a influência destes fatores foi verificada apenas para os painéis de *E. grandis*.

3. Os maiores valores de MOE e MOR foram obtidos para painéis de *E. dunnii* produzidos com lâminas mais densas nas camadas externas do painel.

4. As disposições de lâminas mais densas nas faces do painel melhoraram em termos de médias absolutas as propriedades de flexão estática para as duas espécies estudadas.

5. Os resultados de resistência da linha de cola, MOE e MOR em flexão estática, foram satisfatórios em comparação aos valores apresentados na literatura e indicam que as madeiras de *E. grandis* e *E. dunnii* apresentam grande potencial para produção de painéis laminados unidirecional – LVL.

Referências Bibliográficas

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Norma EN**. 1993.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: VanNostrandReinhold, 1992. 453p.

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

PEASE, D. A. **Panels: products, applications and production trends: A Special Reports From: Wood Technology**. Miller Freeman, 1994. 254p **apud** MATOS, J.L.M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de Pinus taeda L**. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade

Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

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

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias.** 185 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 160 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

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