

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO COMPENSADO FENÓLICO DE *Eucalyptus grandis*
EVALUATION OF QUALITY OF PHENOLIC PLYWOOD MANUFACTURED FROM *Eucalyptus grandis*

Setsuo Iwakiri¹ Antonio Razera Neto² Benedito Carlos de Almeida³ Cândido Petro Biasi³
Daniel Chies³ Francisco Prado Guisantes³ José Antonio Franzoni³ Patrícia Aparecida Rigatto²
Wilson Paulo Bettega³

RESUMO

Essa pesquisa foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a qualidade do compensado de *Eucalyptus grandis* para uso exterior. Para efeitos de comparação, foram produzidos também painéis com lâminas de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, utilizando a resina fenol-formaldeído com duas formulações distintas. Os painéis de *Eucalyptus grandis* apresentaram massa específica superior e menor redução na espessura em relação às demais espécies. Os resultados dos ensaios de resistência da linha de cola demonstraram não haver diferenças estatísticas entre as espécies. Tanto para o MOR, quanto para o MOE em flexão estática, os painéis de *Eucalyptus grandis* apresentaram resultados estatisticamente iguais a *Araucaria angustifolia* e superiores em relação a *Pinus taeda*. Em relação aos efeitos de diferentes formulações do adesivo, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas para as propriedades avaliadas, com exceção da resistência da linha de cola no teste úmido.

Palavras-chave: *Eucalyptus*; compensado; resina fenol-formaldeído.

ABSTRACT

This research's main objective is to evaluate the quality of *Eucalyptus grandis*' manufactured plywood for external use. In order to make comparisons, plywood of *Pinus taeda* and *Araucaria angustifolia* were also manufactured, using phenol-formaldehyde resin with two formulations. The plywoods of *Eucalyptus grandis* showed higher specific gravity and lesser thickness reduction in comparison with the other two species. The results of shear bonding tests were statistically the same between all species. The values of MOR and MOE of *Eucalyptus grandis* were statistically the same in comparison with *Araucaria angustifolia* and higher than *Pinus taeda*. In relation to effects of different formulations of adhesive, no differences for all evaluated properties were verified excluding water soaking shear bonding test.

Keywords: *Eucalyptus*; plywood; phenol-formaldehyde resin.

INTRODUÇÃO

O compensado ainda é o painel mais produzido e consumido no Brasil, embora a produção de outros tipos de painéis reconstituídos de madeira tenha apresentado crescimento significativo nos últimos anos. De acordo com a ABIMCI (2001), as indústrias de compensado foram instaladas inicialmente por volta da década de 40, na região sul do País com base nas florestas naturais de Araucária. A partir da década de 70, as indústrias de maior porte passaram a utilizar madeiras tropicais provenientes da Região Norte do País, tendo em vista a escassez cada vez maior da madeira de Araucária. Já a partir da década de 90, em consequência da pressão ambiental cada vez maior sobre a exploração de florestas tropicais, e a maturação das florestas plantadas de *Pinus* na Região Sul do País, as indústrias começaram a utilizar essa espécie como opção para suprimento da crescente demanda por madeira. No entanto, com a crescente competição pela madeira entre fabricantes de diferentes tipos de painéis, surgiu a necessidade da procura por outras espécies opcionais de rápido crescimento provenientes de florestas plantadas, para aumentar o nível de produção em função da crescente demanda. Esse novo cenário fez com que as indústrias passassem a interessar-se pelo uso de espécies de eucalipto, sobretudo o *Eucalyptus grandis*, para laminação e produção de compensados.

De acordo com a ABNT (2001), o compensado de uso exterior é definido como painel produzido

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, CEP 80210-170, Curitiba (PR). setsuo@floresta.ufpr.br
2. Doutorandos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, CEP 80210-170, Curitiba (PR).
3. Mestrandos pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, CEP 80210-170, Curitiba (PR).

Recebido para publicação em 9/03/2005 e aceito em 20/10/2006.

com colagem a “prova d’água”, apresentando características de alta resistência mecânica e destinado a aplicações que requerem alta resistência à umidade ambiente e ao contato direto com a água. Segundo Marra (1992), o tipo de resina mais adequado para fabricação de compensado para uso exterior é o fenol-formaldeído, em função de suas características de maior resistência e durabilidade em condições extremas de exposição à umidade.

Com relação às espécies, as de rápido crescimento apresentam vantagens em termos de maior incremento volumétrico da madeira. No entanto, essa característica reflete em algumas limitações técnicas relacionadas à madeira, sobretudo quanto à sua densidade e porosidade (Marra, 1992; Tsoumis, 1991). No caso específico de *Eucalyptus grandis*, o seu crescimento mais rápido está aliado à formação de madeira de média densidade e não de baixa densidade como ocorrem com espécies do gênero *Pinus*, tornando-se uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis compensados para fins estruturais. No sentido de viabilizar o uso de espécies de rápido crescimento, Bendsten (1978), sugere que os conceitos tradicionais devem ser adaptados às características da matéria-prima.

Estudos sobre uso de espécies de eucalipto para produção de painéis compensados foram realizados por alguns pesquisadores, como apresentados a seguir: *Eucalyptus grandis* (Keinert Jr, 1994), *Eucalyptus scabra* e *Eucalyptus robusta* (Pio, 1996), *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus maculata* (Interamense, 1998), *Eucalyptus saligna* (Iwakiri, 2000), *Eucalyptus dunnii* (Pedrosa, 2003).

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*, destinado para uso exterior, tais como forma de concreto, embalagens e construção naval, em comparação aos compensados de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, foram utilizadas lâminas de *Eucalyptus grandis*, *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*, com espessura nominal de 1.8 mm, sendo as duas últimas como parâmetros de comparações com a espécie *Eucalyptus grandis*. A resina utilizada foi à base de fenol-formaldeído com teor de sólidos de 48%, viscosidade de 740cp e pH de 11,4. Os demais componentes na mistura do adesivo foram farinha de trigo e de casca de côco usados como extensores.

As lâminas foram obtidas pelo processo de desenrolamento da tora no torno desfolhador, nas indústrias laminadoras localizadas na região de Telêmaco Borba, estado do Paraná, e transportadas até o laboratório para a realização da pesquisa. Após o esquadrejamento em dimensões de 50 x 50 cm, as lâminas das três espécies, foram secas em estufa ao teor de umidade médio de 6%. Cada painel foi pré-montado com cinco lâminas, sendo que para cada lâmina foram medidas as espessuras, dimensões laterais e massa, para determinação da massa específica média da madeira antes da prensagem, com a finalidade de avaliar o aumento na densidade dos painéis após prensagem para as três espécies em estudo.

Os compensados foram produzidos com duas diferentes formulações para cada uma das três espécies, como demonstrado no plano experimental apresentado na Tabela 1.

TABELA 1: Plano experimental para produção dos compensados.

TABLE 1: Experimental plan for plywood manufacturing.

Espécie	<i>Araucaria angustifolia</i>		<i>Pinus taeda</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>	
Formulação	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Repetições	03	03	03	03	03	03

O adesivo foi preparado de acordo com as formulações (1) e (2), com as diferentes proporções em partes/peso dos componentes da mistura, como apresentado na Tabela 2.

Os painéis foram produzidos com gramatura de 190 g/m² (linha simples) e com seguinte ciclo de prensagem: temperatura de 140°C; tempo de prensagem de 10 minutos para *Pinus* e *Araucária* e 12 minutos para *Eucalipto*; pressão específica de 10 kgf/cm² para *Pinus* e de 15 kgf/cm² para *Araucária* e *Eucalipto*.

TABELA 2: Formulações do adesivo utilizados na produção dos compensados.

TABLE 2: Formulations of adhesive used in plywood manufacturing.

Formulação	Resina	Trigo	Casca de coco	Água
(1)	100	-	10	-
(2)	100	10	10	15

Após o acondicionamento dos painéis na câmara de climatização à temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, foram retirados os corpos de prova para realizações de seguintes ensaios físico-mecânicos: massa específica, teor de umidade, resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento (testes úmido e fervura) e flexão estática paralela às fibras. Os procedimentos para os ensaios foram baseados na norma ABNT (2001). Os resultados dos ensaios de resistência da linha de cola e da flexão estática foram analisados pela análise fatorial de variância constituída de três espécies e duas formulações do adesivo. As diferenças entre os tratamentos foram analisadas pelo teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Massa específica e teor de umidade

Os valores médios de massa específica da madeira, massa específica e teor de umidade dos painéis estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3: Valores médios de massa específica da madeira, massa específica e teor de umidade dos compensados de *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.TABLE 3: Average values of wood density, board density and moisture content of *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis*' plywoods.

Espécies	Massa específica das lâminas (g/cm^3)	Massa específica do compensado (g/cm^3)	Teor de umidade (%)
<i>Araucária angustifólia</i>	0,60	0,70 a	11,39
<i>Pinus taeda</i>	0,53	0,66 a	11,74
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,70	0,79 b	11,25

Em que: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95% pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 3, pode-se constatar que os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus grandis* apresentaram valor médio de massa específica estatisticamente superior em relação aos painéis produzidos com lâminas de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*. As diferenças observadas nas massas específicas médias dos painéis estão diretamente relacionadas às massas específicas das lâminas de madeira dessas espécies. Com relação ao teor de umidade, os valores médios na faixa de 11 a 12%, estão dentro dos padrões requeridos para os ensaios laboratoriais.

A Figura 1 mostra uma constatação interessante em relação à massa específica das lâminas antes da prensagem e dos painéis após a prensagem. Pode-se observar que para o *Pinus taeda*, houve um aumento proporcionalmente maior da massa específica dos painéis em comparação à massa específica das lâminas antes da prensagem. Esse aumento pode ser atribuído à menor resistência da madeira de pinus à compressão e, conseqüentemente, sua maior compactação durante o processo de prensagem, tendo em vista a menor massa específica da sua madeira. Esse fato é importante em termos de ganhos de resistência do painel, entretanto, resulta em maior redução na sua espessura.

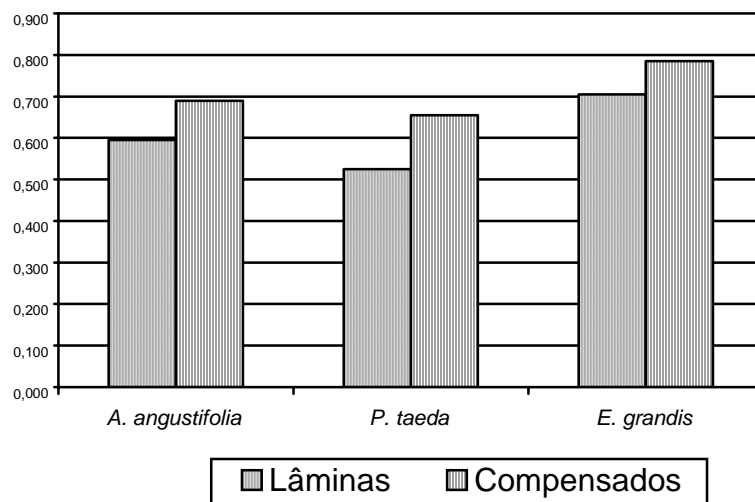


FIGURA 1: Valores médios da massa específica das lâminas antes da prensagem e dos compensados após a prensagem.

FIGURE 1: Average values of specific gravity of veneers before the pressing and of plywood after the pressing.

Resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento

Os valores médios e as análises estatísticas dos resultados de ensaios de resistência da linha de cola dos compensados – teste úmido e fervura, estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 4, 5 e 6.

TABELA 4: Valores médios de resistência da linha de cola (RLC) dos compensados de *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.

TABLE 4: Average values of glue line strength of *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis*' manufactured plywood.

Tratamento – espécie/formulação	Teste úmido (kgf/cm ²)	Teste fervura (kgf/cm ²)
T1 – <i>Araucária angustifólia</i> /F1	11,33	10,28
T2 – <i>Araucária angustifólia</i> /F2	18,30	13,44
T3 – <i>Pinus taeda</i> /F1	14,30	10,99
T4 – <i>Pinus taeda</i> /F2	20,84	14,34
T5 – <i>Eucalyptus grandis</i> /F1	16,40	12,03
T6 – <i>Eucalyptus grandis</i> /F2	19,71	12,50

TABELA 5: Resultados da análise de variância para resistência da linha de cola.

TABLE 5: Results of analysis of variance for glue line strength

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	
		Úmido	Fervura
Blocos	2	0,153 ^{ns}	0,018 ^{ns}
Espécie	2	0,183 ^{ns}	0,010 ^{ns}
Formulação adesivo	1	1,416 [*]	0,243 ^{ns}
Espécie x resina	2	0,060 ^{ns}	0,039 ^{ns}
Erro	10	0,150	0,062
Total	17	-	-

TABELA 6: Resultados do teste de Tukey para resistência da linha de cola.

TABLE 6: Results of Tukey test for glue line strength.

Formulação da resina	Teste úmido	Teste fervura
(1)	14,01 a	11,10 a
(2)	19,62 b	13,43 b

Em que: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%.

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 5 indicam que, tanto para o teste úmido quanto para o teste de fervura, não houve diferença significativa nos valores de resistência da linha de cola, entre as espécies e interações entre espécies e formulações do adesivo. Com relação ao fator formulação do adesivo, foi constatada diferença significativa apenas para o teste úmido. Os resultados do teste de Tukey apresentados na Tabela 6 demonstram que a formulação 2, com a inclusão de dez partes de farinha de trigo e 15 partes de água, resultaram em painéis com maior resistência da linha de cola.

Os valores médios de resistência da linha de cola no teste de fervura, de 12,03 kgf/cm² e 12,50 kgf/cm², obtidos para os painéis de *Eucalyptus grandis*, estão próximos aos valores obtidos por Interamnense (1998) para compensados de *Eucalyptus cloeziana* (12,68 kgf/cm²) e *Eucalyptus maculata* (13,16 kgf/cm²).

Todos os valores de resistência da linha de cola, obtidos neste estudo, foram superiores ao valor mínimo de 10,197 kgf/cm² (1,0 MPa), estabelecido pela norma EN 314-2 (1993).

Flexão estática paralela – módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR)

Os valores médios e as análises estatísticas do módulo de elasticidade e módulo de ruptura dos ensaios de flexão estática paralela dos compensados estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 7, 8 e 9.

TABELA 7: Valores médios de flexão estática paralela dos compensados de *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*.TABLE 7: Average values of parallel bending strength of *Araucaria angustifolia*, *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis*' manufactured plywoods.

Tratamento – espécie/formulação	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
T1 – <i>Araucária angustifólia</i> /F1	150.449	1.165
T2 – <i>Araucária angustifólia</i> /F2	160.594	1.120
T3 – <i>Pinus taeda</i> /F1	104.711	769
T4 – <i>Pinus taeda</i> /F2	107.227	695
T5 – <i>Eucalyptus grandis</i> /F1	167.505	1.040
T6 – <i>Eucalyptus grandis</i> /F2	156.751	969

TABELA 8: Resultados da análise de variância para flexão estática.

TABLE 8: Results of analysis of variance for bending strength.

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio	
		MOE	MOR
Blocos	2	7.325.252,347 ^{ns}	265,872 ^{ns}
Espécie	2	60.285.903,748 [*]	2.618,064 [*]
Formulação adesivo	1	185.719,036 ^{ns}	178,813 ^{ns}
Espécie x resina	2	856.435,489 ^{ns}	3,415 ^{ns}
Erro	10	5.017.286,370	86,935
Total	17		

TABELA 9: Resultados do teste de Tukey para flexão estática.

TABLE 9: Results of Tukey test for bending strength.

Espécie	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)
<i>Araucária angustifolia</i>	159.522 A	1.142 A
<i>Pinus taeda</i>	105.969 B	732 B
<i>Eucalyptus grandis</i>	162.128 A	1.005 A

Em que: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%.

De acordo com os resultados da análise de variância, apresentados na Tabela 8, pode-se constatar que não houve diferença significativa, tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura, para o fator formulação do adesivo e interações entre espécie e formulação do adesivo. A diferença significativa foi observada apenas para o fator espécie.

Os resultados do teste de Tukey, apresentados na Tabela 6, mostram que os módulos de elasticidade e de ruptura dos compensados de *Eucalyptus grandis* e *Araucária angustifolia* são estatisticamente superiores em comparação aos compensados de *Pinus taeda*. Essa diferença pode ser atribuída à maior massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Araucária angustifolia* e, conseqüentemente, dos painéis produzidos com estas espécies.

Os valores médios de módulo de elasticidade de 167.505 kgf/cm² e 156.751 kgf/cm² (Tabela 7), obtidos para os painéis compensados de *Eucalyptus grandis*, foram superiores aos valores encontrados por Keinert Jr (1994) para compensados de *Eucalyptus grandis* (156.094 kgf/cm²), Iwakiri et al. (2000) para *Eucalyptus saligna* (122.017 kgf/cm²) e Pedrosa (2003) para *Eucalyptus dunnii* (132.814 kgf/cm²). Por outro lado, os valores médios de módulo de ruptura de 1.040 kgf/cm² e 969 kgf/cm² foram superiores aos valores encontrados por Interamnense (1998) para compensados de *Eucalyptus cloeziana* (941 kgf/cm²) e *Eucalyptus maculata* (836 kgf/cm²), Keinert Jr. (1994) para *Eucalyptus grandis* (656 kgf/cm²) e Pedrosa (2003) para *Eucalyptus dunnii* (669 kgf/cm²).

CONCLUSÕES

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

A utilização de lâminas de *Eucalyptus grandis* com maior massa específica, na composição do compensado, resultaram na menor densificação do painel e com a vantagem de menor redução na espessura nominal.

A resistência da linha de cola dos painéis produzidos com as três espécies foi estatisticamente igual, tanto para o teste úmido, quanto para o teste de fervura.

Todos os valores médios de resistência da linha de cola, obtidos neste estudo, foram superiores em relação ao valor mínimo estabelecido pela norma EN 314-2 (1993), nas condições de ensaios para uso exterior.

Em termos de médias absolutas, a formulação do adesivo com a inclusão de dez partes de farinha de trigo e 15 partes de água na mistura resultaram em aumentos dos valores médios da resistência da linha de cola.

Os valores médios de MOE e MOR em flexão estática paralela obtidos para os painéis produzidos com lâminas de *Eucalyptus grandis* foram estatisticamente iguais em comparação aos painéis de *Araucaria angustifolia*, porém superiores aos painéis de *Pinus taeda*.

Com base na avaliação geral dos resultados obtidos neste estudo e baseado nos parâmetros de referências utilizados, pode-se concluir que a madeira de *Eucalyptus grandis* é potencialmente viável na produção de compensados para uso exterior que requerem alta resistência à umidade e contato direto com a água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba, 2001. 27p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT/CB-31 – Projeto de Normas 31:000.05.001/1. Chapas de madeira compensada. 2001.
- BENDSTEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **In: PROCEEDINGS OF THE ECONOMICS & FINANCIAL MANAGEMENT AND TIMBER PRODUCTION TECHNICAL COMITEES OF THE FOREST PRODUCTS RESEARCH SOCIETY.** Atalanta, 1978. 78p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Plywood – Determination of shear bonding strength. EN 314-2: 1993.**
- IMTERAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus punctata* para produção de painéis compensados.** Curitiba. 81f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.
- IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.6, n.2, p.19-24, 2000.
- KEINERT JR, S. **Laminação, produção e testes de compensados** a partir de *Eucalyptus spp.* Curitiba, 1994. 93p. Relatório de pesquisa apresentado ao CNPq.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in Practice.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.
- 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.*** Curitiba. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- PIO, N. S. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus scabra* (Dum-Cours) e *Eucalyptus robusta* (Smith) na produção de painéis compensados.** Curitiba. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties and utilization.** New York: Van Nostrand Renhold, 1991. 494p.