

# AValiação DAS PROPRIEDADES MECâNICAS DE PAINÉIS COMPENSADOS DE *Eucalyptus dunnii* E *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*

Peterson Jaeger<sup>1</sup>, Marcelo Ziger<sup>2</sup>

(recebido: 12 de setembro de 2006; aceito: 27 de julho de 2007)

**RESUMO:** A utilização do eucalipto vem crescendo no Brasil em vários setores de processamento de madeira. A apreensão em relação à falta de matéria-prima, no sul do Brasil, faz com que o eucalipto seja uma alternativa para substituição ou utilização conjunta com pinus, para a fabricação de painéis compensados. Dessa maneira, objetivou-se no presente trabalho avaliar as propriedades mecânicas de dois tipos de painéis compensados: um produzido com lâminas alternadas de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda* (T1) e outro inteiramente com *E. dunnii* (T2). Pelos resultados constatou-se que o módulo de elasticidade (MOE) em T1 foi inferior ao T2, porém com a variância apresentando valor superior, indicando menor estabilidade do material testado. Esse comportamento verificou-se nos dois sentidos de corte, perpendicular e paralelo. O módulo de ruptura (MOR) indicou valores similares em ambos os sentidos de corte, porém somente no sentido transversal o T1 apresentou maiores variâncias. A resistência ao corte na linha de cola, no tratamento com água fria, foi semelhante em ambos os tratamentos, com T2 apresentando maior variância. Nesse mesmo teste 16% das peças de T1 apresentaram descolamento durante o pré-tratamento. Submetidos à fervura, o T2 obteve melhores resultados, apesar de notar-se maior percentual de descolamento durante o pré-tratamento.

Palavras-chave: *Eucalyptus dunnii*; painel compensado; propriedades mecânicas.

## MECANIC PROPERTIES EVALUATION OF PLYWOOD PANELS OF *Eucalyptus dunnii* AND *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*

**ABSTRACT:** The use of eucalyptus has been spreading out in Brazil and in several wood processing sectors. Apprehension related to lack of raw material in the south of Brazil makes eucalyptus an alternative for the substitution or use together with pine for making plywood panels. Thus, the aim of this paper was to evaluate the mechanical properties of two types of plywood panels: one that is produced with alternate plates of *Eucalyptus dunnii* and *Pinus taeda* (T1) and the other entirely with *E. dunnii* (T2). The results showed that the elasticity module (MOE) in T1 was inferior to T2, but with variance presenting higher value, indicating smaller stability of the tested material. This behavior was noticed in cutting directions, perpendicular and parallel. The module of rupture (MOR) showed similar values in both directions of cutting, but T1 showed higher variances only in the transversal direction. The resistance to cutting in the glue line in the treatment with cool water was similar in both treatments, with T2 presenting higher variance. On the same test 16% of the pieces of T1 came off during pre-treatment. When put to boil, T2 obtained better results, even though it presented a higher percentage of pieces coming off during pre-treatment.

Key words: *Eucalyptus dunnii*, plywood panel, mechanical properties.

### 1 INTRODUÇÃO

As exigências dos mercados externos não se restringem apenas ao contexto ambiental, mas também em relação aos parâmetros que atestam condições mínimas das características físicas e mecânicas. Esses parâmetros estão expressos sob normas internacionais e a conformidade do produto é verificada por meio de ensaios em laboratórios credenciados. Buscar essa qualidade, que é necessidade primária para conquista do mercado externo, inicia-se no conhecimento minucioso do processo industrial, avaliando individualmente cada etapa de fabricação.

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 dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus* apresentam grande potencial para suprir essa demanda em função das boas características da sua madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também pela disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil. A pesquisa apresenta discussão sobre as propriedades físicas e mecânicas da espécie *Eucalyptus*

<sup>1</sup>Engenheiro Florestal, Professor da Universidade do Contestado-Canoinhas/Porto União, Rua Joaquim Nabuco,314 – Cidade Nova – 89400-000 – Porto União, SC – peterson@uvaol.com.br

<sup>2</sup>Tecnólogo da Madeira, Universidade do Contestado-Canoinhas/Porto União, Rua Joaquim Nabuco,314 – Cidade Nova – 89400-000 – Porto União, SC – mzziger@yahoo.com.br

*dunnii* apresentando-o como mais uma opção na produção de compensados.

O gênero *Eucalyptus* apresenta madeira de boas características, crescimento rápido e disponível em grande escala pelo Brasil. De acordo com pesquisas de Iwakiri et al. (2000) realizadas no país, o uso dessa madeira para produção de lâminas e painéis de compensados é de grande utilidade. Por ser de belo aspecto estético, as lâminas faqueadas de algumas espécies do gênero *Eucalyptus* são também utilizadas como capa de compensados decorativos.

Em decorrência da dificuldade de se obter matéria-prima de espécies tradicionais provenientes de florestas nativas, o gênero *Eucalyptus* tem se destacado como fonte potencial para suprimir essa falta pois é espécie exótica e possui boas características.

Um fator determinante para a utilização do gênero *Eucalyptus* para compensados é a sua maior resistência em relação à madeira de *Pinus*. Conforme pesquisas realizadas para avaliar a influência das lâminas nos compensados, o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) das chapas de eucalipto, com três lâminas centrais, dispostas no sentido paralelo entre si e perpendicular à capa são superiores em relação às chapas produzidas com lâminas de *Pinus*, e isso influi, positivamente, na composição de compensados por espécies do gênero *Eucalyptus*.

Pesquisas sobre o comportamento da madeira dessas 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.

Muito ampla é a gama de potenciais produtos que podem ser gerados a partir da madeira de eucalipto. Dentre esses produtos, destaque pode ser dado para o compensado pelo fato de agregar considerável valor à matéria-prima. Pesquisas que enfocam a utilização do eucalipto para essa finalidade não estão somente relacionadas ao uso ou ao melhor aproveitamento das espécies do gênero, mas também a uma fonte alternativa de matéria-prima frente às madeiras de folhosas nativas e de *Pinus* (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004).

Os primeiros estudos feitos no Brasil, relacionados com a produção de lâminas e compensados a partir de espécies do gênero *Eucalyptus*, tiveram início na ESALQ

/ USP com Jankowsky (1979). O autor utilizou as madeiras de *Eucalyptus saligna* Sm., *E. urophylla* S.T.Blake e *E. grandis* Hill ex Maiden. Nesse estudo, somente foi possível a produção de compensados com as lâminas de *E. grandis*, que resultou em um painel de alta densidade, resistente e estável. As outras duas espécies geraram lâminas de qualidade inadequada, inviabilizando a produção dos compensados (JANKOWSKY, 1979).

Jankowsky & Aguiar (1983), realizaram novo estudo a partir das madeiras de *Eucalyptus triantha* Link., *E. microcorys* F. Muell, *E. pellita* F. Muell, *E. saligna* e *E. grandis*, com 10 anos de idade. Nesse estudo, somente o *E. triantha* e o *E. saligna* geraram lâminas com qualidade aceitável e os autores concluíram serem essas espécies aptas para manufatura de compensados (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004).

Pereyra (1994) desenvolveu um trabalho que teve como objetivo avaliar a madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden para produção de lâminas por desenrolamento e manufatura de compensados. O autor concluiu que o *E. Dunnii* é uma espécie de alto potencial para utilização como matéria-prima na indústria. Pelo fato de ter produzido compensados para usos à prova d'água e posteriormente à caracterização mecânica e isso não ter sido comprovado, o autor sugeriu novos estudos com outras formulações de adesivos fenólicos, visando aquele objetivo não alcançado (IWAKIRI, 2005). Destaca-se o estudo realizado por Gaiotto et al. (1993), onde comparando a espécie *Eucalyptus grandis* com *Araucaria angustifolia*, a primeira apresentou densidade 10 % mais alta e resistência à flexão estática igual ou levemente superior à segunda.

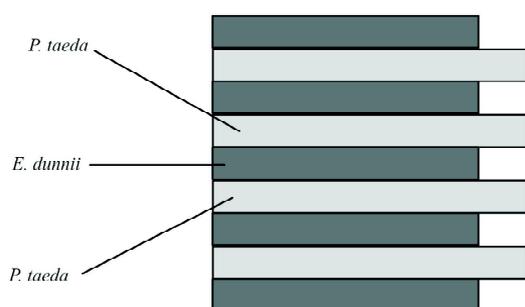
Após esses autores e no decorrer dos anos, foram realizados novos estudos sendo os resultados de várias espécies do gênero *Eucalyptus* satisfatórios. Bortoletto Júnior & Garcia (2003) realizaram um estudo utilizando 11 espécies do gênero *Eucalyptus* avaliando suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização, constando que todas as espécies geraram lâminas viáveis para manufatura de compensados. Segundo autores como Gaiotto et al. (1993) e Walker (1993), os resultados dos testes de densidade básica das espécies analisadas por Bortoletto Júnior & Garcia (2004) são de densidade média a alta, pois de acordo com os estudos desses autores, madeiras com densidades encontradas entre as médias 0,38 e 0,70 g/cm<sup>3</sup> são consideradas aptas para a manufatura de compensados. Em continuidade com seus estudos, Bortoletto Júnior & Garcia (2004) conclui nos resultados obtidos nos ensaios de resistência da linha de colagem ao

esforço de cisalhamento, confrontados com as especificações da norma EN 314-2/1993, que os compensados das 11 espécies utilizados no presente estudo podem ser destinados ao uso exterior, com exceção ao da espécie *E. citriodora* que se restringe ao uso intermediário. Nos ensaios de flexão estática, de acordo com as normas DIN 68705-3/1981 e DIN 68792/1979, os compensados das 11 espécies podem destinar-se à construção e à fabricação de formas de concreto, com larga margem de segurança relativa aos valores médios mínimos exigidos pelas tais normas. Com relação ao módulo de elasticidade (MOE), a utilização desses compensados para condições de uso nas quais os mesmos não sejam solicitados à flexão estática perpendicular, mas somente à flexão estática paralela, estão restringidos. Essa restrição pode ser superada pela manufatura de compensados com um número de camadas maior (7 ou 9 camadas), a fim de uniformizar a resistência.

Objetivou-se, principalmente, no presente estudo comparar as propriedades mecânicas de dois tipos de painéis compensados: 100% *Eucalyptus dunnii* e composição mista de *Eucalyptus dunnii*/*Pinus taeda*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Constituiu-se o tratamento T1, (Figura 1), por 3 painéis compensados com lâminas intercaladas de *Eucalyptus dunnii* e *Pinus taeda*, com 18mm de espessura, coladas com adesivo fenol-formaldeído e composto por 9 lâminas, sendo a central de *E. dunnii*; desse modo, o T1 apresentou uma proporção de 5 lâminas de *E. dunnii* para 4 lâminas de *P. taeda*. O tratamento T2, por sua vez foi composto exclusivamente por lâminas de *E. dunnii*, sendo igualmente com 18 mm de espessura, 9 lâminas e foi utilizado fenol-formaldeído.



**Figura 1** – Modelo gráfico da composição do painel compensado fabricado para o T1 com lâmina de *E. dunnii* central.

**Figure 1** – Graphical model of the composition of the plywood panel manufactured for T1 treatment, with *E. dunnii* central layer.

Os ensaios procederam conforme as normas EN 326-1, EN 310 e EN 314-1. Os corpos de prova do ensaio de flexão são divididos em ensaios no sentido paralelo e perpendicular às fibras da capa. No ensaio de cisalhamento na linha de cola, 10 corpos de prova são ensaiados com dois pré-tratamentos: à base de água fria e à base de fervura. A quantidade de corpos de prova utilizados nessa avaliação observa-se na Tabela 1.

De acordo com a Norma Européia EN 310, a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e de resistência (MOR) à flexão é realizada por meio da aplicação de uma força no centro do corpo de prova, o qual é suportado por dois apoios. O MOE é calculado utilizando o declive da parte retilínea da curva carga-deformação; o valor calculado é o módulo aparente e não o módulo verdadeiro, pois o método de ensaio inclui o corte e a flexão. O MOR de cada corpo de prova é calculado por determinação da relação entre o momento de flexão  $M$  para a carga de ruptura  $F_{max}$ , no momento da seção transversal.

Para determinação, tanto do MOE como do MOR, são necessárias séries de corpos de prova nas duas direções, paralela e perpendicular às fibras da capa do painel. Em relação ao MOE, os corpos de prova foram acondicionados até massa constante numa atmosfera com uma umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  e uma temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . Considera-se massa constante quando os resultados de duas pesagens sucessivas, efetuadas com, pelo menos 24 horas de intervalo, não diferem mais de 0,1% em relação à massa do corpo de prova. Após massa constante os corpos de prova são medidos em largura e espessura e são submetidos a uma força com velocidade constante de maneira que a carga de ruptura seja atingida em  $60 \pm 30\text{s}$ . O MOE foi obtido pela seguinte expressão, de acordo com a norma utilizada:

$$MOE = \frac{l_1^3 \times (F_2 - F_1)}{4bt^3 \times (a_2 - a_1)}$$

onde:  $l_1^3$  – distância entre os centros de apoio, em milímetros;  $b$  – largura do corpo de prova, em milímetros;  $t$  – espessura do corpo de prova, em milímetros;  $(F_2 - F_1)$  – incremento de carga;  $(a_2 - a_1)$  – incremento da flecha a meio-comprimento do corpo de prova.

O MOR de cada corpo de prova foi calculado pela seguinte expressão, conforme EM 310:

$$MOR = \frac{3F_{max} \times l_1}{2bt^2}$$

onde:  $l_1$  – distância entre os centros de apoio, em milímetros;  $b$  – largura do corpo de prova, em milímetros;  $t$  – espessura do corpo de prova, em milímetros;  $F_{max}$  – força de ruptura, em Newtons.

**Tabela 1** – Número de corpos de prova por painel e total, para cada teste realizado, conforme normas específicas.

**Table 1** – Number of samples per panel and total, for each test carried out, according to specific norms.

Testes	Norma	Amostras por painel	Total de amostras
Módulo de elasticidade e resistência à flexão (sentido perpendicular)	EN 310	06	36
Módulo de elasticidade e resistência à flexão (sentido paralelo)	EN 310	06	36
Linha de cola (em água fria)	EN 314-1	10	30
Linha de cola (em água fervente)	EN 314-1	10	30

Para o ensaio de cisalhamento na linha de cola, a preparação das amostras iniciou-se com o processo de imersão durante 4 horas em água em ebulição, seguida de secagem em estufa com ventilação durante 16 horas, à temperatura de 60°C seguida de imersão em água em ebulição durante 4 horas e de arrefecimento em água a 20°C. Retirado o excesso de umidade da superfície dos corpos de prova, esses foram medidos e registrados o comprimento e a espessura da área sujeita a corte.

Os corpos de prova foram colocados de forma centrada nas garras de fixação, fazendo com que a força aplicada fosse transmitida da máquina de ensaio à superfície de corte, por meio das extremidades dos corpos de prova, não permitindo a ocorrência de cargas transversais e admitindo-se um escorregamento no início da aplicação da carga. O teste tem uma aplicação de carga constante de forma que a ruptura ocorra em  $30 \pm 10$ s.

A tensão de ruptura ( $f_v$ ) de cada corpo de prova foi dada pela expressão, indicada pela EN 314-1:

$$f_v = \frac{F \max}{a.b}$$

onde: Fmax – força de ruptura, em Newtons; a – distância entre os sulcos, em milímetros; b – largura do corpo de prova, em milímetros.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio para determinação do MOE teve por finalidade avaliar a rigidez do compensado. Os resultados para os dados referentes a esse ensaio, no sentido paralelo às fibras da capa, demonstram-se pelas Tabelas 2, 3 e 4, as quais tratam dos resultados individualizados por painel, dos resultados gerais por tratamento e da análise de variância, respectivamente. O MOE em T1 demonstrou-se inferior ao T2, verificando-se valores extremos de 7630,4 N/mm<sup>2</sup> e 12529,1N/mm<sup>2</sup> no

primeiro e 8891,8 N/mm<sup>2</sup> e 11185,7 N/mm<sup>2</sup> no segundo. Em primeira análise é possível verificar a maior amplitude de valores em T1, o que leva à pré-conclusão de maior instabilidade associada ao material estudado. Esse comportamento fica evidenciado, comparando-se as medidas de dispersão (desvio padrão e variância), tanto para cada painel individualmente como para o total de cada tratamento, onde os valores verificados para T2 estão abaixo daqueles para T1 (Tabela 3).

Os dados dos dois tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), à probabilidade de 5% e o resultado evidencia-se na Tabela 4. Observou-se que, nesse caso, apesar da diferenças acima expostas, os dois tratamentos não demonstraram diferenciação estatística significativa ( $F < F$  crítico).

O MOE no sentido perpendicular demonstrou valores mais elevados em T2, variando de 5414,9N/mm<sup>2</sup> a 8723,3N/mm<sup>2</sup>, enquanto que em T1 a amplitude é delimitada por 3336,1N/mm<sup>2</sup> e 6686,2N/mm<sup>2</sup> (Tabela 5).

Observando a Tabela 6, pode-se verificar que o T2 obteve maior média (7183,6N/mm<sup>2</sup>) comparativamente à T1 (4926,2N/mm<sup>2</sup>), diferença essa que mostrou-se estatisticamente significativa, conforme ANOVA (5%) (Tabela 7).

Os resultados obtidos para o MOR (N/mm<sup>2</sup>), baseados no sentido paralelo, evidenciam que os painéis possuem médias semelhantes, variando de 48,915 N/mm<sup>2</sup> a 65,138N/mm<sup>2</sup> (Tabela 8). Essa semelhança é mantida quando se observam os valores para os dois tratamentos (67,778N/mm<sup>2</sup> e 59,053N/mm<sup>2</sup> para T1 e T2, respectivamente). Na Tabela 9 é possível verificar que os valores das medidas de dispersão no T2 são inferiores à T1, porém não foi constatada diferença significativa entre os tratamentos, conforme mostra a ANOVA na Tabela 10.

**Tabela 2** – Módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>) obtido individualmente para cada painel compensado, no sentido paralelo.*Table 2* – Module of elasticity (N/mm<sup>2</sup>) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
1	8799,0	7630,4	9728,8	9774,1	8891,8	9970,0
2	10549,3	9282,4	7973,7	11042,1	10031,6	10840,4
3	9762,4	8561,0	10698,3	9705,6	9236,5	10287,6
4	10121,7	10343,6	9628,3	10436,0	9527,0	9793,8
5	9907,8	11384,7	10178,4	10095,5	9288,8	10642,5
6	9653,3	12529,1	10494,8	11185,7	9626,1	10409,0
Média	9798,92	9955,20	9783,72	10373,17	9433,63	10323,88
Desvio	583,35	1823,21	979,92	631,39	389,03	395,75
Variância	340298,17	3324086,91	960241,53	398651,03	151349,30	156617,83

**Tabela 3** – Resumo do módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>) obtido para cada tratamento, paralelamente às fibras da capa.*Table 3* – Summary of the module of elasticity (N/mm<sup>2</sup>) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	9845,94	1168,99	1366544,54
T2	10043,56	636,56	405204,96

**Tabela 4** – Análise de variância para módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>) para cada tratamento, paralelamente às fibras da capa.*Table 4* – Variance analysis for the module of elasticity (N/mm<sup>2</sup>) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	351471,1	1	351471,1	0,39675	0,532983	4,130018
Dentro dos grupos	30119741	34	885874,7			
Total	30471213	35				

**Tabela 5** – Módulo de elasticidade (N/mm<sup>2</sup>) obtido individualmente para cada painel compensado, no sentido perpendicular.*Table 5* – Module of elasticity (N/mm<sup>2</sup>) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
7	5294,1	5499,8	4892,1	8011,4	6311,0	7072,1
8	5323,8	6447,0	4684,6	8723,3	5623,8	7398,6
9	3506,0	6059,4	3336,1	7317,7	7550,5	7269,3
10	4682,3	5209,3	4201,1	7305,0	6063,6	7353,9
11	3718,1	6686,2	3890,5	8244,4	5414,9	7445,7
12	5180,4	5550,9	4510,1	7606,7	7499,2	7093,1
Média	4617,45	5908,77	4252,42	7868,08	6410,50	7272,12
Desvio	815,11	583,33	571,95	562,47	919,26	158,04
Variância	664411,06	340272,80	327126,24	316371,07	845044,76	24975,86

**Tabela 6** – Resumo do módulo de elasticidade ( $N/mm^2$ ) obtido para cada tratamento, perpendicularmente às fibras da capa.

**Table 6** – Summary of the module of elasticity ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	4926,2	962,5	926325,7
T2	7183,6	853,2	728010,3

**Tabela 7** – Análise de variância para módulo de elasticidade ( $N/mm^2$ ) para cada tratamento, perpendicularmente às fibras da capa.

**Table 7** – Variance analysis for the module of elasticity ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	45860887	1	45860887	55,44325	1,23E-08	4,130018
Dentro dos grupos	28123713	34	827168			
Total	73984600	35				

**Tabela 8** – Módulo de ruptura ( $N/mm^2$ ) obtido individualmente para cada painel compensado, paralelamente às fibras da capa.

**Table 8** – Module of rupture ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
1	49,948	31,163	73,493	45,644	39,804	56,419
2	52,752	48,874	31,456	66,993	58,085	62,626
3	72,659	43,715	79,278	56,148	59,804	58,170
4	26,030	62,096	62,837	64,563	60,130	49,785
5	33,133	80,278	64,822	56,196	61,526	73,859
6	58,967	89,744	78,944	60,196	79,293	53,719
Média	48,915	59,312	65,138	58,290	59,773	59,096
Desvio	17,049	22,441	17,890	7,584	12,537	8,415
Variância	290,68	503,61	320,05	57,52	157,17	70,81

**Tabela 9** – Resumo do módulo de ruptura ( $N/mm^2$ ) obtido para cada tratamento, paralelamente às fibras da capa.

**Table 9** – Summary of the module of rupture ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	57,788	19,4	375,423
T2	59,053	9,2	84,359

**Tabela 10** – Análise de variância para módulo de ruptura ( $N/mm^2$ ) para cada tratamento, paralelamente às fibras da capa.

**Table 10** – Variance analysis for the module of rupture ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in parallel direction.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	14,40249	1	14,40249	0,062649	0,803863	4,130018
Dentro dos grupos	7816,301	34	229,8912			
Total	7830,704	35				

No sentido perpendicular, o MOR demonstrou discrepância entre as médias dos painéis (Tabela 11) bem como entre os tratamentos (Tabela 12), onde evidencia-se maior média em T2 (60,30N/mm<sup>2</sup>) em relação à T1 (35,66N/mm<sup>2</sup>). Ainda, em T2 as medidas de dispersão foram menores (8,3 N/mm<sup>2</sup> e 69,36 N/mm<sup>2</sup> para desvio padrão e variância, respectivamente). As diferenças verificadas neste caso, foram comprovadas pela ANOVA (Tabela 13), à 5% de probabilidade.

Segundo os valores demonstrados, fica evidente que a utilização pura de *Eucalyptus dunnii* (T2) indica-se mais promissora, visto que a mescla de espécies (T1) requer desenvolvimento de novas metodologias em função das características das madeiras utilizadas.

Os valores para o MOE e MOR em sentido paralelo não demonstraram diferenças significativas entre os tratamentos, apesar do T2 sempre apresentar-se com melhores desempenhos. Porém, foi no sentido perpendicular que as diferenças foram acentuadas, sendo significativas as análises estatísticas, onde T2 apresentou maior MOR médio (60,30 N/mm<sup>2</sup>) com menor desvio (8,3).

O ensaio de linha de cola tem como finalidade avaliar a qualidade da linha de colagem e classificar o compensado segundo o local de utilização, ou seja, se o mesmo pode ser destinado ao uso interior (avaliado no ensaio seco), intermediário (avaliado no ensaio úmido) ou exterior (avaliado no ensaio pós-fervura).

A resistência ao corte, conforme observa-se na Tabela 14, foi em média, semelhante em ambos os tratamentos,

com as médias variando de 1,734N/mm<sup>2</sup> a 2,70N/mm<sup>2</sup>. As medidas de dispersão para este caso foram maiores em T2 (Tabela 15). As diferenças verificadas até esse ponto observaram-se mediante ANOVA (Tabela 16), com 5% de significância, sendo o valor médio para a tensão de ruptura de 1,61N/mm<sup>2</sup> para T1 e de 2,44N/mm<sup>2</sup> para T2.

Em relação ao teste precedido de fervura, o T1 obteve médias inferiores (1,542N/mm<sup>2</sup> a 1,671N/mm<sup>2</sup>), comparativamente à T2 (1,874N/mm<sup>2</sup> a 3,040N/mm<sup>2</sup>), sendo que suas variâncias demonstraram comportamentos semelhantes às médias (Tabela 17). Agrupados por tratamento (Tabela 18), os valores mantiveram-se semelhantes entre ambos, não demonstrando diferenças significativas, segundo ANOVA (Tabela 19).

No tratamento com água fria, observou-se ainda que em T1 não foi possível realizar ensaios em todos os corpos de prova, pois 16% perdeu-se durante o pré-tratamento, comportamento esse que não foi verificado no T2. Para o pré-tratamento em água fervente, cerca de 26% dos corpos de prova em T1 e 23% em T2 foram descartados por sua impossibilidade de utilização. Dessa forma, nesse critério o T2 obteve melhor desempenho, observado os percentuais de corpos de prova inutilizados durante o pré-tratamento. Entretanto, o percentual atingido por T2 em água fervente, não lhe confere confiabilidade, mesmo se comparado à T1. A Figura 2 ilustra o percentual de perdas em T1 e T2 em cada pré-tratamento utilizado.

**Tabela 11** – Módulo de ruptura (N/mm<sup>2</sup>) obtido individualmente para cada painel compensado, perpendicularmente às fibras da capa.

**Table 11** – Module of rupture (N/mm<sup>2</sup>) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
7	57,167	43,015	34,615	61,181	54,633	55,430
8	56,848	21,319	34,167	75,667	47,430	67,163
9	28,870	51,496	22,444	52,978	65,956	62,111
10	50,485	33,793	23,822	51,300	59,348	56,263
11	36,556	30,519	24,507	63,422	45,893	62,341
12	29,493	39,707	23,089	60,719	71,144	72,433
Média	43,236	36,641	27,107	60,878	57,401	62,623
Desvio	13,204	10,498	5,686	8,711	10,054	6,471
Variância	174,357	110,217	32,328	75,889	101,077	41,878

**Tabela 12** – Resumo do módulo de ruptura ( $N/mm^2$ ) obtido para cada tratamento, perpendicularmente às fibras da capa.

**Table 12** – Summary of the module of rupture ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	35,66	11,8	139,62
T2	60,30	8,3	69,36

**Tabela 13** – Análise de variância para módulo de ruptura ( $N/mm^2$ ) para cada tratamento, perpendicularmente às fibras da capa.

**Table 13** – Variance analysis for the module of rupture ( $N/mm^2$ ) gotten individually for each plywood panel, in perpendicular direction.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	5463,674	1	5463,674	52,28931	2,28E-08	4,130018
Dentro dos grupos	3552,636	34	104,4893			
Total	9016,31	35				

**Tabela 14** – Tensão de ruptura, em  $N/mm^2$ , na linha de cola dos painéis compensados, pré-tratados com água fria.

**Table 14** – Rupture tension, in  $N/mm^2$ , in glue line strength of the plywood panels in cold water test.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
1	2,046	2,816	-	2,717	1,969	4,294
2	1,656	2,655	2,097	1,861	0,057	3,955
3	1,708	1,908	1,861	1,900	1,080	1,669
4	3,745	2,989	-	1,894	1,935	2,243
5	-	1,456	1,222	1,189	2,962	3,175
6	2,009	2,611	3,827	2,949	2,255	3,671
7	2,834	1,092	1,247	0,525	3,237	3,197
8	4,176	-	1,138	2,971	2,534	2,178
9	2,184	-	1,190	2,733	3,781	2,311
10	2,630	2,948	1,288	4,916	1,512	3,003
Média	2,554	2,309	1,734	2,366	2,132	2,970
Desvio	0,891	0,728	0,916	1,199	1,089	0,856
Variância	0,794	0,530	0,840	1,437	1,185	0,732

**Tabela 15** – Resumo da tensão de ruptura ( $N/mm^2$ ) na linha de cola, obtido para cada tratamento, submetidos ao pré-tratamento em água fria.

**Table 15** – Summary of the rupture breaking ( $N/mm^2$ ) in the glue line, gotten for each treatment, submitted to the cold water treatment.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	1,61	0,64	0,41
T2	2,44	1,03	1,06

**Tabela 16** – Análise de variância para tensão de ruptura ( $N/mm^2$ ) na linha de cola, para cada tratamento, submetidos ao pré-tratamento em água fria (probabilidade: 0,05).

**Table 16** – Analysis of variance for rupture breaking ( $N/mm^2$ ) in the glue line, for each treatment, submitted to the cold water treatment (probability: 0,05).

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	7,785822	1	7,785822	10,53128	0,002275	4,067047
Dentro dos grupos	31,7901	43	0,739305			
Total	39,57593	44				

**Tabela 17** – Tensão de ruptura, em  $N/mm^2$ , na linha de cola dos painéis compensados, pré-tratados com água fervente.

**Table 17** – Rupture tension, in  $N/mm^2$ , in glue line strength of the plywood panels in boiling water test.

CP	Painel 1	Painel 2	Painel 3	Painel 4	Painel 5	Painel 6
1	1,158	-	-	3,392	2,038	1,632
2	1,924	-	2,384	2,305	3,082	1,482
3	1,811	0,833	2,888	3,793	3,630	3,698
4	1,794	0,738	-	-	1,207	1,170
5	1,888	1,636	-	2,944	3,645	2,553
6	1,702	2,309	1,809	3,012	0,567	2,098
7	1,210	1,468	0,528	3,522	1,431	0,488
8	1,615	2,896	1,436	2,450	-	-
9	0,938	-	0,983	2,909	-	-
10	1,385	-	-	3,029	-	-
Média	1,542	1,646	1,671	3,040	2,228	1,874
Desvio	0,346	0,839	0,877	0,479	1,237	1,038
Variância	0,120	0,704	0,769	0,230	1,529	1,078

**Tabela 18** – Resumo da tensão de ruptura ( $N/mm^2$ ) na linha de cola, obtido para cada tratamento, após pré-tratamento em fervura.

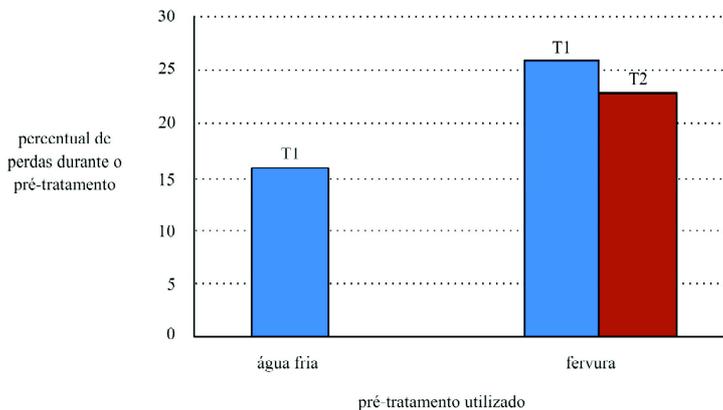
**Table 18** – Summary of the rupture breaking ( $N/mm^2$ ) in the glue line, gotten for each treatment, after boiling water treatment.

Tratamentos	Média	Desvio padrão	Variância
T1	2,21	0,89	0,79
T2	2,49	1,08	1,17

**Tabela 19** – Análise de variância para tensão de ruptura ( $N/mm^2$ ) na linha de cola, para cada tratamento, após pré-tratamento em fervura (probabilidade: 0,05).

**Table 19** – Analysis of variance for rupture breaking ( $N/mm^2$ ) in the glue line, for each treatment, after boiling water treatment (probability: 0,05).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,036862	1	1,036862	1,040385	0,312366	4,023017
Dentro dos grupos	52,82052	53	0,996614			
Total	53,85738	54				



**Figura 2** – Percentagem de perdas de corpos de prova durante o pré-tratamento em T1 e T2.

**Figure 2** – Percentage of sample losses during T1 and T2 pre-treatment.

#### 4 CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados, pode-se concluir:

Os painéis compensados constituídos de *Eucalyptus dunnii* demonstraram melhores resultados, comparativamente àqueles fabricados com lâminas mistas de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*;

A utilização conjunta de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* para fabricação de painéis compensados demonstrou deficiências evidenciadas no rompimento da linha de cola, durante os pré-tratamentos utilizados;

Os painéis compensados constituídos de *Eucalyptus dunnii* demonstraram rompimento da linha de cola quando submetidos ao pré-tratamento com água fervente, evidenciando que sua utilização deverá priorizar ambientes internos;

O comportamento inferior dos painéis com lâminas mistas pode ter sua origem nas iguais condições de secagem, colagem e prensagem, aplicados às espécies com características anatômicas distintas;

Deve-se priorizar o estudo dos painéis compensados de *Eucalyptus dunnii*, visando a melhoria do processo, com o objetivo principal da redução de suas variâncias, o que representa maior homogeneidade dos valores obtidos.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORTOLETTO JUNIOR, G.; GARCIA, J. N. Bending strength and stiffness properties of OSB and plywood panels. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, July/Aug. 2004.

GAIOTTO, M. R.; WATAI, L. T.; JANKOWSKY, I. P. Avaliação experimental do compensado de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1.; CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: UFPR, 1993. p. 595-599.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: Abril, 2005.

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.

JANKOWSKY, I. P. **Madeira juvenil**: formação e aproveitamento industrial. São Paulo: IPEF, 1979. 18 p. (Circular técnica, 81).

JANKOWSKY, I. P.; AGUIAR, O. J. R. Manufatura de painéis compensados com eucalyptus: caracterização de diversas espécies. **Floresta**, Curitiba, v. 14, n. 1, p. 46-53, 1983.

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. 1994. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing**: principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993. p. 377-416.