

Propriedades de chapas OSB de  
*Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*Physico-mechanical properties of oriented strand  
boards of *Eucalyptus grandis* and *Cupressus glauca*Esmeralda Yoshico Arakaki Okino, Divino Eterno Teixeira, Mário Rabelo de Souza,  
Marcos Antonio Eduardo Santana, Maria Eliete de Sousa**Resumo**

Este trabalho objetivou avaliar a viabilidade técnica de utilização das madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de cipreste (*Cupressus glauca* Lam.) na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB). Chapas de três camadas, na proporção de 1:2:1 e massa específica aparente nominal de 0,75 g/cm<sup>3</sup> foram confeccionadas com 5% e 8% de resina uréia-formaldeído (UF) e fenol-formaldeído (FF), baseado no peso seco de partículas. As propriedades das chapas foram determinadas de acordo com a norma ASTM D 1037 e os resultados comparados com as especificações da norma canadense CSA O437. Com relação às chapas OSB de eucalipto todas as propriedades mecânicas foram superiores ao mínimo exigido pela CSA O437, para a classe O-2, com exceção do módulo de ruptura, na direção paralela, usando a resina UF. Em termos de propriedades mecânicas as chapas OSB de cipreste foram superiores às chapas OSB de eucalipto e também superaram todos os valores especificados pela norma canadense. Todas as chapas apresentaram baixa estabilidade dimensional e não atenderam o valor máximo de inchamento em espessura, após 24 h de imersão, requerido pela norma CSA O437, classe O-2. Dentre todos os tratamentos testados aquele de melhor desempenho foi o de 8% de resina fenol-formaldeído. As madeiras de eucalipto e de cipreste mostraram-se viáveis como matéria-prima para a confecção de chapas OSB.

**Palavras-chave:** Chapas de partículas orientadas, OSB, Eucalipto, Cipreste, Uréia e fenol-formaldeído, Propriedades físicas, Propriedades mecânicas

**Abstract**

The objective of this research was to evaluate the technical feasibility of the use of *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden and *Cupressus glauca* Lam. wood to manufacture oriented strand boards (OSB). Boards of three layers with the ratio of 1:2:1 were bonded with 5% and 8% of urea- (UF) and phenol-formaldehyde (FF) resins, based on dry weight of particles and with an apparent nominal specific density of 0.75 g/cm<sup>3</sup>. As for eucalyptus OSB boards, they presented mechanical properties above the value required by the standard CSA O437.0, class O-2, except for the rupture modulus, parallel alignment, bonded with urea-formaldehyde adhesive. All mechanical properties of cypress boards were higher than Eucalyptus boards and also higher than Canadian standards requirements. All the boards presented low dimensional stability and after 24h swelling in water immersion, were not up to the Canadian norms CSA 047, class O-2. Among all treatments studied, 8% FF presented the best performance. *Eucalyptus* and cypress woods have shown to be a feasible alternative as raw material for OSB panels manufacturing.

**Keywords:** Oriented strand board, OSB, *Eucalyptus*, Cypress, Urea- and phenol-formaldehyde, Physical properties, Mechanical properties

**INTRODUÇÃO**

O eucalipto, desde a sua introdução no Brasil, vem sofrendo sucessivos melhoramentos quer seja nos sistemas de plantios ou em suas aplicações e usos finais. O Brasil consumiu 166 milhões de m<sup>3</sup> de madeira em 2000 (SBS, 2001). Estudos mais recentes indicam que existem no país 4,6 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 1,7 milhões do gênero *Pinus* e 2,9

milhões do gênero *Eucalyptus*. A maioria dos plantios está localizada nas regiões Sul e Sudeste (SILVA, 2003a).

No Brasil o eucalipto possui um caráter estratégico: atualmente se produzem 6,4 milhões de toneladas de celulose por ano, 18,8 milhões de m<sup>3</sup> de carvão vegetal, 558 mil m<sup>3</sup> de chapa de fibra e 500 mil m<sup>3</sup> de chapa aglomerada (SILVA, 2003b). As espécies mais utilizadas são o *E. grandis* (55%), *E. saligna* (17%), *E. urophylla* (9%), *E.*

Analistas Ambientais do Laboratório de Produtos Florestais do Serviço Florestal Brasileiro - SFB - Av. L-4 Norte SCEN, trecho 2, lote 4, bloco B - Brasília, DF - 70818-900 - E-mail: [esmeralda.okino@florestal.gov.br](mailto:esmeralda.okino@florestal.gov.br); [divino.teixeira@florestal.gov.br](mailto:divino.teixeira@florestal.gov.br); [mario.souza@florestal.gov.br](mailto:mario.souza@florestal.gov.br); [marcos.santana@florestal.gov.br](mailto:marcos.santana@florestal.gov.br); [eliete.sousa@florestal.gov.br](mailto:eliete.sousa@florestal.gov.br)

*viminalis* (2%), híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* (11%) e outras espécies (SILVA, 2003a). O potencial de utilização múltipla da madeira de eucalipto fez crescer as opções de melhoria das espécies (procedências, clonagens, híbridos), de espaçamentos, de idade de corte, de técnicas silviculturais diferenciadas (desbaste, desrama, de métodos de exploração etc.).

Foi investindo nessa visão que o estudo de cipreste iniciado por Okino *et al.* (2004, 2005, 2006 e 2007) vêm alertando para a potencialidade dessa espécie que já é consagrada em muitos países da América Latina onde ocorre como espécie nativa, no entanto há de ressaltar a necessidade de melhoramentos genéticos e tratos silviculturais para a adequada introdução dessa espécie no Brasil.

Gouveia (1999) confeccionou chapas de OSB, orientadas e não orientadas, com a madeira de *E. grandis* e de *E. urophylla*, usando 10% de resina fenólica. No geral as chapas produzidas com o *E. grandis* foram melhores do que as com o *E. urophylla*. As propriedades mecânicas atenderam aos requisitos da norma CSA O437.0-93 (1993), mas não quanto ao inchamento em espessura após 24 h de imersão em água. Seguindo a mesma linha de pesquisa Gouveia (2001) estudou a produção de chapas de partículas orientadas com mistura das espécies *E. grandis* e *Pinus elliottii* Engelm em diferentes proporções, usando a resina fenólica (Cascophen) a 4%, 6% e 8% acrescido de 1% de emulsão de parafina. Os melhores resultados foram obtidos para as chapas com 6% e 8% de adesivo, mas nenhum tratamento teve êxito quanto ao inchamento em espessura e absorção de água, sendo, no entanto, aprovado quanto ao teste de expansão linear. Gouveia *et al.* (2003) avaliaram a mistura de *E. grandis* e *P. elliottii* na razão face:miolo de 50:50, vários teores de resina fenólica e três estruturas de colchão. As propriedades mecânicas foram superiores àquelas citadas na norma O437.0-93, mas o inchamento em espessura após 24 h não atendeu ao máximo exigido. Não houve diferença estatística dentre todos os tratamentos testados quanto à estrutura do colchão.

De acordo com a literatura, a razão de esbeltez ideal para painéis estruturais de três camadas, pode variar de 120 a 200 para partículas das camadas externas, e de 60 para partículas de camada interna do painel. Esse índice influencia significativamente a qualidade dos painéis em termos das propriedades mecânicas e dimensionais, qualidade de acabamento e usinabilidade. A geometria

das partículas apresenta interações diretas com a área de contato entre partículas e o consumo relativo de resina. As variações nas dimensões das partículas possibilitam a produção de diferentes tipos de painéis, com propriedades adequadas para aplicações específicas (IWAKIRI, 2005).

Em estudos de Vital *et al.* (2004) as chapas OSB de *E. grandis* encoladas com 8% de resina uréica apresentaram valores médios de MOE e MOR de 3.178,8 e 29,33 MPa, respectivamente. Vidaurre *et al.* (2004) confeccionaram chapas orientadas com espécies de rápido crescimento, o guapuruvu e o mulungu, e os melhores resultados de flexão estática foram ao usar o guapuruvu puro e/ou na capa.

Iwakiri *et al.* (2004) utilizaram o *E. grandis*, *E. dunnii*, *E. tereticornis*, *E. saligna*, *E. citriodora* e *E. maculata*, com 10 anos de idade, para a fabricação de chapas OSB encoladas com 6% de resina fenol-formaldeído na proporção 1:3:1 entre camadas cruzadas. Os valores médios de ligação interna, módulo de elasticidade e de ruptura foram de 0,57 MPa, 5.594 MPa e 40,6 MPa, respectivamente, para o *E. grandis*.

A indústria de base florestal no Brasil está sujeita à crescente escassez de matéria-prima de florestas plantadas. A própria indústria de OSB já experimenta concorrência pelo pinus, usado na confecção das chapas. A abertura de novas alternativas e espécies de madeira poderão suprir esta indústria no futuro.

Este trabalho teve por objetivo determinar as propriedades físicas e mecânicas de chapas orientadas de OSB confeccionadas com partículas de 80 mm, usando as madeiras de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. Não foi objetivo do trabalho fazer a comparação entre as duas espécies de madeiras.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

Árvores de *E. grandis* de plantios com 18 anos de idade foram coletadas junto ao Jardim Botânico de Brasília, da Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia - JBB/SEMATEC.

Toras de aproximadamente 17 anos de idade de *C. glauca* foram coletadas na região urbana de Brasília.

### Preparação das partículas

As árvores foram coletadas e cortadas em toretes e posteriormente transformadas em blocos de aproximadamente 20 x 100 x 190 mm e

saturadas em água. No caso do eucalipto, para melhor processamento dos blocos, eles foram aquecidos em autoclave por 1h a 120°C e depois transformado em partículas em um picador de disco de alta velocidade. As partículas foram classificadas em peneiras vibratórias, sendo coletadas aquelas que passaram pela peneira com malha de 24 mm e ficaram retidas na malha de 8 mm de abertura. As partículas foram secas em estufa ventilada a 103°C até um teor de umidade médio entre 3% e 4%. A dimensão média das partículas foi de 0,67 x 20 x 80 mm para o eucalipto e de 0,70 x 20 x 70 mm para o cipreste.

### **Tipos de resinas e caracterização**

Foram utilizadas as resinas uréia-formaldeído-UF (Cascamite PB 2346) e fenol-formaldeído-FF (Cascophen HL - 2080), ambas cedida pela Alba Química Ltda. A resina UF continha 66% de sólidos resinosos, conforme a norma ASTM 1490-67 (1967) e uma viscosidade de 267 mPa.s (267cP), medida em um aparelho Brookfield VR-110, a 25°C e o catalisador adicionado foi o cloreto de amônio (NH<sub>4</sub>Cl) na proporção de 5% sobre o peso total do adesivo. A resina FF continha 47% de sólidos resinosos conforme a norma ASTM D 4426-84 (1984) e uma viscosidade de 467 mPa.s (467 cP). Os adesivos foram aplicados nas quantidades de 5% e de 8% de sólidos resinosos, baseados no peso seco das partículas. Não foi acrescentada emulsão de parafina na confecção da chapa.

### **Confecção das chapas OSB**

As partículas secas foram impregnadas com a resina em um misturador por 2 minutos, independentemente da viscosidade medida. Este material foi distribuído manualmente num formador de colchão de 400 x 400 mm e em seguida prensado a 175°C por 10 minutos sob pressão de 4,0 MPa. Cada chapa foi composta de três camadas orientadas, sendo a do miolo num ângulo de 90° em relação às das faces, numa proporção entre as camadas de 1:2:1 com massa específica aparente - M.E.A. nominal de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e dimensão nominal da chapa de aprox. 450 x 450 mm. Não houve adição de parafina na confecção da chapa OSB.

Confeccionadas as chapas, elas foram climatizadas em umidade relativa de (65 ± 2)% e temperatura de (20 ± 1)°C, tiveram suas bordas aparadas para 430 x 430 mm. De cada chapa retiraram-se seis corpos-de-prova para execução dos ensaios de flexão estática na direção paralela e seis na direção perpendicular (módulo de

ruptura - MOR, módulo de elasticidade - MOE e tensão no limite proporcional - TLP), e doze corpos-de-prova para os demais ensaios físicos (absorção de água, inchamento em espessura, M.E.A., teor de umidade) e mecânicos (ligação interna, arranque de parafuso e dureza Janka), independente da orientação. Os corpos-de-prova foram testados, de acordo com a norma americana ASTM D 1037 - 99 (1999), em uma máquina universal de testes INSTRON 1127.

### **Delineamento experimental**

Para a análise estatística dos dados foi considerado um experimento fatorial completo de dois tipos de resinas (UF e FF), duas proporções de aplicação (5% e 8%) e três repetições para cada uma das espécies (eucalipto e cipreste) perfazendo um total de 24 chapas, onde a variável espécie foi analisada, por conveniência, em separado. Os resultados dos testes foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e, quando necessário, ao teste de Análise de Co-variância (ANCOVA), utilizando-se o programa Statistical Package for Social Science - SPSS. Para a comparação entre os tratamentos usou-se o teste de Tukey HSD em nível de significância de 5%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **OSB de eucalipto**

Como houve diferença significativa de M.E.A. entre os tratamentos de OSB de eucalipto, foi feita uma Análise de Covariância (ANCOVA) para excluir essa propriedade como fonte de variação. Foi realizada a análise de correlação entre a M.E.A. e as demais propriedades. A ANCOVA foi determinada para as propriedades em que a correlação foi significativa (Tabela 1).

### **Ensaio mecânicos**

Os valores de propriedades mecânicas, estimados pela ANCOVA, de chapas OSB de eucalipto encontram-se listados na Tabela 2.

Quanto ao MOR na direção paralela, somente as chapas coladas com a resina FF (8% e 5%) superaram o mínimo especificado pela classe O-2 da norma CSA O437.0, enquanto que os tratamentos usando a resina UF (8% e 5%) ficaram levemente abaixo do especificado, comportamento esse considerado normal em se tratando de resina uréica. Quanto aos valores de MOR na direção perpendicular, todos os tratamentos superaram o valor mínimo exigido pela norma que é de 12,4 MPa para a classe O-2, sendo de

1,2 a 2,7 vezes maior do que o exigido. A razão entre os valores médios de MOR paralelo/perpendicular variou de 1,4 a 1,9 estando próximo ao valor 2,34 da norma CSA O437.0, grau O-2.

Os valores de MOE na direção paralela apresentaram diferenças significativas e foram superiores ao mínimo especificado pela norma CSA O437.0, classe O-2 que é de 5.500 MPa. Os valores de MOE nessa direção foram de 1,3 a 1,5 vezes maior do que o valor mínimo exigido. Os valores de MOE na direção perpendicular, superaram em 1,4 a 2,1 vezes o valor mínimo exigido que é de 1.500 MPa. Maloney (1977) definiu o grau de orientação do painel pela razão entre os valores de MOE nas duas direções (paralelo/perpendicular), indicando que as chapas orientadas foram em média de 2,6 a 3,2 vezes mais rígidas no sentido paralelo do que no sentido per-

pendicular, estando próximo do valor de 3,67 da norma CSA O437.0, grau O-2, assegurando a boa orientação das partículas com o consequente aumento na resistência da chapa.

Comparando-se os resultados aqui obtidos, com aqueles apresentados por Gouveia (2001), os valores de MOR e MOE foram superiores em torno de 40%, na direção paralela com 8% de resina FF, e também para o arranque de parafuso que ficou em média 10% acima. Iwakiri *et al.* (2003) apresentaram valores de MOE na direção paralela 32% inferiores ao obtido nesse estudo ao confeccionarem chapas OSB de *E. grandis* com 6% de resina FF.

Os valores de TLP na direção paralela variaram de 15,3 a 31,6 MPa e na perpendicular de 6,3 a 14,1 MPa. A razão entre os valores de TLP paralela/perpendicular ficou entre 1,9 a 3,0.

**Tabela 1.** Correlação entre a M.E.A. e as demais propriedades de chapas OSB de *E. grandis*.

**Table 1.** Correlation between density and other properties of *E. grandis* OSB.

Propriedade	Correlação de Pearson	Valor de p (Significância) 2-tailed
Teor de Umidade (%)	0,309	0,328
MOR Paralelo (MPa)	0,834(**)	0,001
MOR Perpendicular (MPa)	0,823(**)	0,001
MOE Paralelo (GPa)	0,952(**)	0,000
MOE Perpendicular (GPa)	0,904(**)	0,000
SLP Paralelo (MPa)	0,823(**)	0,001
SLP Perpendicular (MPa)	0,761(**)	0,004
Ligação Interna (MPa)	0,760(**)	0,004
Arranque de Parafuso (N)	0,725(**)	0,008
Dureza Janka (N)	0,700(*)	0,011
Absorção de Água - 2 h (%)	-0,675(*)	0,016
Absorção de Água - 24 h (%)	-0,779(**)	0,003
Inchamento - 2 h (%)	-0,639(*)	0,025
Inchamento - 24 h (%)	-0,544	0,068

\* Correlação significativa em nível de significância de 5% (2-tailed).

\*\* Correlação significativa em nível de significância de 1% (2-tailed).

**Tabela 2.** Valores médios das propriedades mecânicas, estimadas pela ANCOVA, de chapas OSB de *Eucalyptus grandis*.

**Table 2.** Estimated (ANCOVA) mean values for the mechanical properties of *Eucalyptus grandis* OSB.

Ensaio	Módulo de Ruptura <sup>2</sup> (MPa)		Módulo de Elasticidade <sup>2</sup> (MPa)		Tensão no Limite Proporcional <sup>2</sup> (MPa)		Ligação Interna <sup>3</sup> (MPa)	Arranque Parafuso <sup>3</sup> (N)	Dureza Janka <sup>3</sup> (N)
	Paralelo	Perpen.	Paralelo	Perpen.	Paralelo	Perpen.			
UF <sup>1</sup> -5%	24,5 (4,4)	14,2 (3,6)	6.922 (368)	2.163 (221)	15,5 (2,8)	6,3 (1,7)	0,35 (0,11)	1.776 (192)	7.309 (1.332)
UF-8%	28,1 (2,4)	19,5 (2,0)	7.468 (202)	2.524 (121)	15,3 (1,6)	7,9 (0,9)	0,42 (0,06)	1.631 (106)	8.067 (733)
FF-5%	46,2 (2,5)	24,0 (2,1)	8.045 (210)	2.932 (126)	28,7 (1,6)	9,6 (1,0)	0,50 (0,06)	2.129 (110)	8.903 (760)
FF-8%	55,3 (4,0)	33,0 (3,3)	8.410 (338)	3.214 (203)	31,6 (2,6)	14,1 (1,5)	0,49 (0,10)	2.647 (177)	10.231 (1.225)
Norma	----- CSA O437.0 <sup>4</sup> -----				-----		ANSI A.208.1 <sup>5</sup>	CSA O437.0 <sup>6</sup>	
Requisito	29,0	12,4	5.500	1.500	N/A	N/A	0,345	1.100	2.224

Números entre parênteses são erros padrões; <sup>(1)</sup> UF = uréia-formaldeído; FF = fenol-formaldeído; <sup>(2)</sup> Média de 6 corpos-de-prova, (2 para cada uma das 3 repetições), para cada orientação; <sup>(3)</sup> Média de 12 corpos-de-prova, (4 para cada uma das 3 repetições), independente da orientação; <sup>(4)</sup> Valor mínimo exigido segundo requerimentos da norma canadense CSA O437.0, classe O-2, para painéis de OSB; <sup>(5)</sup> Valor mínimo exigido segundo a norma ANSI A.208.1 para chapas de aglomerado de partículas; <sup>(6)</sup> Valor mínimo exigido segundo requisito da norma canadense CSA O437.0, classe R-I, para painéis waferboard classificado como R-I.

Os valores de ligação interna variaram de 0,35 a 0,50 MPa, e foram iguais ou excederam em 22% a 45% o valor mínimo requerido, que é de 0,345 MPa para a norma CSA O437.0, classe O-2, indicando boa qualidade de adesão e da distribuição do adesivo no colchão de partículas. Isso vem confirmar que a aplicação e a cura do adesivo foram eficientes durante o processo de fabricação das chapas. As chapas com diferentes teores de resina FF apresentaram resultados similares, mostrando que o menor teor de resina é suficiente e mais econômico.

Os valores de arranque de parafuso, independente da orientação das partículas, variaram de 1.631 a 2.647 N. Em comparação com a norma ANSI A.208.1, grau M-3, os valores das chapas orientadas superaram de 1,5 a 2,4 vezes o valor mínimo requerido, que é de 1.100 N para chapas aglomeradas de média densidade.

Os valores de dureza Janka das chapas avaliadas ficaram entre 7.309 a 10.231 N, em média de 3,3 a 4,6 vezes superiores ao mínimo requerido pela norma CSA O437.0, classe R-1, que é de 2.224 N, para chapas do tipo *waferboard*, estando em conformidade ao padrão internacional de qualidade para painéis OSB.

A razão de compactação, que é a relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, foi em média de 1,32 (OKINO *et al.*, 2007) ao considerar a densidade básica do eucalipto de 0,60 g/cm<sup>3</sup> (BOTELHO, 1997) estando em conformidade com o mínimo de 1,3 citado por Iwakiri (2005) para que ocorra a densificação necessária para a formação do painel.

### Ensaio físico

Os valores médios, para as chapas de OSB de *E. grandis*, estimados pela ANCOVA, com exceção do teor de umidade e do inchamento em espessura após 24 h que não apresentaram correlação com a M.E.A. estão listados na Tabela 3.

Os resultados de absorção de água foram altos, o que era esperado em se tratando de resi-

na UF e da não adição de parafina. No entanto, quando foi utilizada a resina FF houve uma redução de 37% nos valores de absorção de água entre os dois níveis testados. Do mesmo modo, os valores de inchamento em espessura de chapas com a resina UF foram elevados, mas reduziu em 59% ao aumentar o teor de resina FF de 5% para 8%. Os resultados da análise estatística mostraram que o tipo e o nível de resina afetaram o inchamento em espessura após 24 h, com a divisão em três grupos homogêneos. No geral o comportamento das chapas OSB no teste de absorção de água foi idêntico ao de inchamento em espessura.

Os resultados de massa específica estiveram em média 11% acima da inicial proposta, exceto o tratamento a 5% de resina UF. Supõe-se que esse desvio seja devido a não uniformidade na distribuição das partículas durante a formação manual do colchão aliado ao fato de ter sido projetado um excesso de partículas de aprox. 5% devido às perdas durante a manipulação. Houve diferença significativa de massas específicas entre os tratamentos, havendo a formação de dois grupos homogêneos, o que mostrou a necessidade da ANCOVA.

O teor de umidade ficou em torno de 8% apresentando apenas um grupo homogêneo, sem diferenças significativas entre os níveis e tipos de resinas utilizados na confecção dos painéis.

A razão de esbeltez média, que é a relação entre o comprimento e a espessura dos strands, foi de 119 para as chapas OSB estando abaixo da média de 150-250 considerada ideal por Brumbaugh (1960).

### Efeito do tipo de resina

O tipo de resina, analisado isoladamente, foi significativo para todas as propriedades estudadas, exceto para absorção de água, após 2 h, portanto o tipo de resina é um parâmetro importante e que influencia as propriedades físicas e mecânicas da chapa OSB de eucalipto.

**Tabela 3.** Resultados das propriedades físicas<sup>1</sup> de chapas OSB de *Eucalyptus grandis*.

**Table 3.** Physical properties mean values of *Eucalyptus grandis* OSB.

Ensaio	M.E.A. (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade (%)	Inchamento em Espessura (%)		Absorção de Água (%)	
			2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
UF <sup>2</sup> -5%	0,73 A (0,03)	8,40 A (0,03)	37,5 (4,1)	59,8 BC (2,2)	30,1 (4,1)	67,4 (3,3)
UF-8%	0,80 AB (0,05)	8,31 A (0,09)	39,9 (2,2)	71,0 C (12,7)	34,5 (2,3)	63,3 (1,8)
FF-5%	0,83 B (0,02)	8,40 A (0,13)	36,0 (2,3)	45,5 B (5,3)	45,9 (2,4)	63,7 (1,9)
FF-8%	0,88 B (0,01)	8,67 A (0,23)	14,6 (3,7)	26,8 A (0,4)	28,9 (3,8)	40,7 (3,0)
Requisito	N/A		N/A	15,0 <sup>3</sup>	N/A	N/A

Valores de média numa mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% usando o teste de Tukey HSD onde os valores entre parênteses são desvios padrões; Colunas sem letras foram estimadas pela ANCOVA e os números entre parênteses são erros padrões;

<sup>(1)</sup> Média de 12 corpos-de-prova, (4 para cada uma das 3 repetições), independente da orientação; <sup>(2)</sup> UF = uréia-formaldeído; FF = fenol-formaldeído; <sup>(3)</sup> Valor máximo aceitável segundo requisito da norma canadense CSA O437.0, classe como O-2, para painéis de espessura superior a 12,7 mm.

### Efeito do teor de resina

O teor de resina, isoladamente, foi significativo somente para a absorção de água, após 2 e 24h, ou seja teve influência positiva na estabilidade dimensional das chapas OSB. Criou-se maior barreira física na linha de cola e também auxiliou na proteção aos sítios hidrofílicos dos constituintes químicos da madeira.

### Efeito da interação

A interação entre os dois parâmetros anteriores foi significativa para todas as propriedades, ou seja, o tipo e o teor de resinas atuaram conjuntamente fazendo com que as propriedades físicas e mecânicas fossem estatisticamente afetadas.

### OSB de cipreste

Como houve diferença significativa de M.E.A. entre os ensaios de OSB de cipreste, o mesmo procedimento quanto a ANCOVA foi adotado. A análise de correlação apontou significância e necessidade da ANCOVA para as propriedades de MOR, MOE paralelos e Dureza Janka. A Tabela 4 mostra o resultado dessas correlações.

### Ensaio mecânicos

Na Tabela 5 estão listados os valores médios e os valores médios estimados pela ANCOVA das propriedades mecânicas de OSB de cipreste.

Quanto ao MOR na direção paralela todos os tratamentos superaram em 1,7 a 2,5 vezes o mínimo especificado pela norma CSA O437.0, para a classe O-2. Na direção perpendicular, todos os ensaios superaram ao valor mínimo exigido pela norma canadense, para a classe O-2 que é de 12,4 MPa, onde o valor de MOR foi de 2,7

a 2,9 vezes maior do que o exigido, isso mostra que a magnitude do valor médio de MOR foi homogêneo e igual a 35 MPa. A razão entre os valores médios de MOR paralelo/perpendicular variou de 1,4 a 2,0 sendo este um parâmetro de orientação das partículas. Quanto ao MOR na direção perpendicular não houve diferença significativa entre os tratamentos testados.

Os valores de MOE, na direção paralela foram maiores que o mínimo especificado pela norma CSA O437.0, para a classe O-2, que é de 5.500 MPa sendo que os valores para as chapas com resina FF foram superiores em 44% e 74%. Os valores de MOE na direção perpendicular superaram de 2,2 a 2,8 vezes o mínimo exigido pela mesma norma. A razão entre os valores de MOE paralelo/perpendicular variou de 1,9 a 2,9 vezes. Não houve diferença significativa entre os quatro tratamentos para o MOE na direção perpendicular, ou seja, o tipo e o teor de resinas não foram fatores significativos.

Os valores de TLP na direção paralela variaram de 35,8 a 46,1 MPa e de 15,2 a 20,0 MPa na perpendicular. Pelo teste de Tukey apresentou somente um grupo homogêneo. A razão entre os valores de TLP paralelo/perpendicular variou de 1,9 a 2,5. Não houve diferença significativa entre os tratamentos nas duas direções.

Os valores de ligação interna variaram de 0,53 a 0,63 MPa indicando boa qualidade da adesão e da distribuição do adesivo no colchão de partículas, excedendo em 1,5 a 1,8 vezes o valor mínimo exigido pela norma CSA O437.0, para a classe O-2, que é de 0,345 MPa. O teste de Tukey apresentou somente um grupo homogêneo.

**Tabela 4.** Correlação entre a M.E.A e as demais propriedades de OSB de *Cupressus glauca* Lam.

**Table 4.** Correlation between density and other OSB properties of *Cupressus glauca*.

Propriedade	Correlação de Pearson	Valor de p (Significância) 2-tailed
Teor de Umidade (%)	-0,181	0,574
MOR Paralelo (MPa)	0,644(*)	0,024
MOR Perpendicular (MPa)	0,058	0,858
MOE Paralelo (GPa)	0,715(**)	0,010
MOE Perpendicular (GPa)	-0,244	0,445
SLP Paralelo (MPa)	0,573	0,051
SLP Perpendicular (MPa)	0,214	0,504
Ligação Interna (MPa)	0,174	0,590
Arranque de Parafuso (N)	0,402	0,195
Dureza Janka (N)	0,623(*)	0,030
Absorção de Água - 2 h (%)	-0,508	0,092
Absorção de Água - 24 h (%)	-0,473	0,121
Inchamento - 2 h (%)	-0,349	0,266
Inchamento - 24 h (%)	-0,281	0,376

\* Correlação significativa em nível de significância de 5% (2-tailed).

\*\* Correlação significativa em nível de significância de 1% (2-tailed).

**Tabela 5.** Valores médios das propriedades mecânicas, estimadas pela ANCOVA, de chapas OSB de *Cupressus glauca*.  
**Table 5.** Estimated (ANCOVA) mean values for the mechanical properties of *Cupressus glauca* OSB.

Ensaio	Módulo de Ruptura <sup>2</sup> (MPa)		Módulo de Elasticidade <sup>2</sup> (MPa)		Tensão no Limite Proporcional <sup>2</sup> (MPa)		Ligação Interna <sup>3</sup> (MPa)	Arranque Parafuso <sup>3</sup> (N)	Dureza Janka <sup>3</sup> (N)
	Paralelo	Perpen.	Paralelo	Perpen.	Paralelo	Perpen.			
UF <sup>1</sup> -5%	51,0 (2,9)	33,7 A (2,6)	7.903 (446)	3.583 A (425)	35,8 A (4,5)	19,2 A (2,0)	0,57 A (0,08)	2.570 A (56)	9.164 (632)
UF-8%	48,3 (2,3)	35,6 A (4,0)	8.164 (349)	4.206 A (427)	37,7 A (4,7)	20,0 A (0,5)	0,56 A (0,08)	2.593 A (282)	9.253 (494)
FF-5%	72,5 (3,4)	36,2 A (5,2)	9.564 (523)	3.349 A (282)	46,1 A (1,4)	19,4 A (3,8)	0,63 A (0,22)	2.998 A (313)	9.192 (741)
FF-8%	61,3 (2,4)	33,8 A (3,2)	7.923 (364)	3.473 A (463)	38,6 A (6,5)	15,2 A (1,1)	0,53 A (0,21)	2.842 A (429)	8.920 (516)
Norma	----- CSA O437.0 <sup>4</sup> -----				-----		ANSI A.208.1 <sup>5</sup>	CSA O437.0 <sup>6</sup>	
Requisito	29,0	12,4	5.500	1.500	N/A	N/A	0,345	1.100	2.224

Valores de média numa mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si em nível de 5% usando o teste de Tukey HSD onde os valores entre parênteses são desvios padrões; Colunas sem letras foram estimadas pela ANCOVA; Números entre parênteses são erros padrões; <sup>(1)</sup> UF = uréia-formaldeído; FF = fenol-formaldeído; <sup>(2)</sup> Média de 6 corpos-de-prova, (2 para cada uma das 3 repetições), para cada orientação; <sup>(3)</sup> Média de 12 corpos-de-prova, (4 para cada uma das 3 repetições), independente da orientação; <sup>(4)</sup> Valor mínimo exigido segundo requerimentos da norma canadense CSA O437.0, classe O-2, para painéis de OSB; <sup>(5)</sup> Valor mínimo exigido segundo a norma ANSI A.208.1 para chapas de aglomerado de partículas; <sup>(6)</sup> Valor mínimo exigido segundo requisito da norma canadense CSA O437.0, classe R-1, para painéis wafer-board classificados como R-1.

Os valores estimados de arranque de parafuso, independente da orientação das partículas, variaram de 2.570 a 2.998 N. Em comparação com a norma americana ANSI A.208.1, grau M-3, os valores de arranque de parafuso das chapas de OSB superaram de 2,3 a 2,7 vezes o valor mínimo requerido, que é de 1.100 N para chapas aglomeradas de média densidade. Não houve diferença significativa em nível de 5% entre os ensaios avaliados. Quanto à dureza Janka, as chapas avaliadas apresentaram valores bastante homogêneos em torno de 9.132 N que foram de 4,0 a 4,2 superiores ao valor mínimo requerido pela norma CSA O437.0, para a classe R-1, que é de 2.224 N para chapas do tipo waferboard.

A razão de compactação média foi de 1,64 (OKINO *et al.*, 2007) a considerar a densidade básica do cipreste de 0,51 g/cm<sup>3</sup> (OKINO *et al.*, 2006) estando acima do valor mínimo de 1,3 citado por Iwakiri (2005). A razão de esbeltez foi de apenas 100. O aumento na espessura dos strands resultou em menor razão de esbeltez, menor área superficial das partículas e maior

disponibilidade de resina por unidade de área dos strands, resultando no aumento da ligação interna do painel.

### Ensaio físico

Os valores médios das propriedades físicas de chapas OSB de cipreste estão listados na Tabela 6.

Os resultados de absorção de água foram altos, o que era esperado em se tratando de resina UF, mas tiveram uma leve redução ao utilizar a resina FF. Do mesmo modo, os valores de inchamento em espessura de chapas com resina UF foram elevados e melhoraram, consideravelmente, com a substituição pela resina FF. Os resultados da análise estatística de inchamento em espessura após 2 h mostraram que de forma geral o tipo de resina afetou a estabilidade dimensional das chapas estudadas, mas a proporção utilizada não. Assim sendo, em termos econômicos é viável aplicar o menor teor de resina (5%) uma vez que não houve diferença significativa entre os painéis ao usar o mesmo tipo de resina. As chapas OSB com o maior teor

**Tabela 6.** Resultados das propriedades físicas<sup>1</sup> de chapas OSB de *Cupressus glauca* Lam.  
**Table 6.** Results of physical properties mean values of *Cupressus glauca* Lam. OSB.

Tipo e teor de resina	M.E.A. g/cm <sup>3</sup>	Teor de umidade (%)	Inchamento em Espessura (%)		Absorção de Água (%)	
			2 h	24 h	2 h	24 h
UF <sup>2</sup> -5%	0,80 A (0,02)	10,83 A (0,18)	38,8 B (5,3)	51,1 C (8,1)	56,9 B (4,3)	73,0 B (3,8)
UF-8%	0,83 AB (0,03)	10,52 AB (0,04)	27,2 AB (5,0)	43,4 BC (1,9)	40,2 AB (8,6)	60,7 AB (5,9)
FF-5%	0,89 B (0,04)	10,83 AB (0,39)	21,1 A (1,9)	31,6 AB (3,5)	35,5 A (4,2)	52,5 A (2,4)
FF-8%	0,82 AB (0,02)	11,30 B (0,23)	18,5 A (7,6)	25,7 A (8,1)	36,1 A (7,8)	51,7 A (7,3)
Requisito	N/A		N/A	15,0 <sup>3</sup>	N/A	N/A

Valores de média numa mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% usando o teste de Tukey HSD onde os números entre parênteses são desvios padrões; <sup>(1)</sup> Média de 12 corpos-de-prova (4 para cada uma das 3 repetições), independente da orientação; <sup>(2)</sup> UF = uréia-formaldeído; FF = fenol-formaldeído; <sup>(3)</sup> Valor máximo aceitável segundo requisito da norma canadense CSA O437.0, classe O-2, para painéis de espessura superior a 12,7 mm.

de resina FF tiveram o valor de inchamento em espessura acima do valor requerido pela norma CSA O437.0, para o grau O-2. O comportamento das chapas OSB no teste de absorção de água foi idêntico ao de inchamento em espessura.

Todos os resultados de massa específica aparente estão acima da inicialmente proposta. Houve diferença significativa de massa específica aparente entre os tratamentos, havendo a formação de dois grupos homogêneos.

### Efeito do tipo de resina

O tipo de resina, analisado em separado, foi significativo para o MOR na direção paralela e para a estabilidade dimensional, isto é, tem maior influência quando sujeito às alterações ambientais.

### Efeito do teor de resina

O teor de resina, separadamente, não foi estatisticamente significativo para nenhum dos parâmetros estudados.

### Efeito da interação

A interação entre o tipo e o teor de resinas foi significativa para o MOR e MOE, ambas na direção paralela, e para a estabilidade dimensional, ou seja, mostrando a ação combinada dos dois fatores.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Todas as propriedades mecânicas das chapas orientadas de eucalipto, tanto no sentido perpendicular como no paralelo, foram superiores aos valores mínimos exigidos pela norma CSA O437, classe O-2, a mais rigorosa, exceto para o MOR na direção paralela de chapas com resina UF.
- Todas as propriedades mecânicas das chapas de OSB de cipreste foram superiores aos valores mínimos exigidos pela norma canadense CSA O437, classe O-2, e também pela norma ANSI A.208.1, classe R-1 para painéis waferboards.
- O alinhamento das partículas foi eficiente para as chapas de OSB de eucalipto e de cipreste, haja vista os valores superiores de MOR e MOE na direção paralela. As chapas apresentaram, em média, quase o dobro de rigidez no sentido paralelo em relação ao perpendicular.
- Todas as chapas orientadas foram dimensionalmente instáveis quando imersas em água, após 24 h, superando o máximo estipulado pela norma canadense, no entanto, esses valores po-

derão ser melhorados com a adição de parafina, a diminuição da densidade das chapas ou o tratamento térmico da superfície da chapa, além da automação do processo operacional.

- Para as chapas OSB de cipreste, dependendo do uso, as menores proporções de resina UF e FF podem ser usadas, pois nos dois níveis estudados não houve diferenças significativas com exceção do MOR e MOE, na direção paralela, e para o arranque de parafuso.
- Embora ainda não seja prática comum a produção de chapas OSB confeccionadas com resina UF, a mesma pode ser viável no caso de painéis para uso interior, a exemplo do que ocorre com o compensado de uso interno.
- Ainda não foi constatado o uso de 100% eucalipto, na produção de chapas de madeira aglomerada ou OSB, muito embora tenha mostrado viável a sua utilização.
- Apesar de não tê-la analisada estatisticamente a madeira de cipreste apresentou certa tendência de melhores resultados do que a de eucalipto, corroborando essa conífera como alternativa viável de matéria-prima à confecção de chapas OSB.

### AGRADECIMENTOS

O Laboratório de Produtos Florestais – LPF / IBAMA agradece o Dr. Mário de Andrade da Alba Química Ltda., quanto à doação das resinas e aos Srs. Francisco Ozanan, Chefe do Departamento de Parques e Jardins da NOVACAP, DF e Marco Aurélio Silva, pela gentil doação da madeira de cipreste.

Os autores agradecem também aos técnicos que muito auxiliaram na execução desse projeto: os Srs. João E. Anacleto, Sérgio Martinez, Luiz D. Santana, Getúlio F. de Almeida, Francisco L. de Araújo, Ricardo P. de O. Santos, Fernando A. de Oliveira e Dionísio A. do Monte.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat-formed wood particleboard: Specification ANSI A208.1-93.** Gaithersburg: National Particleboard Association, 1993. 9p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM Standards.** Philadelphia, 1967. v.04.09 (Standard test method for nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions: ASTM D 1490 – 67)

- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM Standards**. Philadelphia, 1984. v.15.06 (Standard test method for determination of percent nonvolatile content of liquid phenolic resins used for wood Laminating: ASTM D 4426-84).
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM Standards**. Philadelphia, 1999. v.04.09 (Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials: ASTM D 1037- 99).
- BOTELHO, G.M.L. **Caracterização química, durabilidade natural e tratabilidade da madeira de seis espécies de eucaliptos plantadas no Distrito Federal: projeto final**. Brasília: Universidade de Brasília / Curso de Engenharia Florestal, 1997. 37p.
- BRUMBAUGH, J. Effect of flakes dimensions on properties of particle boards. **Forest Products Journal**, Madison, p.243-246, 1960.
- CSA - CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: 0437-93**. Ontario, 1993. 18p.
- GOUVEIA, F.N. **Produção de chapas de partículas orientadas (OSB) a partir das espécies *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* Engelm.** 2001. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- GOUVEIA, F.N. **Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *E. urophylla* T.S. Blake na fabricação de chapas de partículas orientadas (OSB): projeto final**. Brasília: Universidade de Brasília / Curso de Engenharia Florestal, 1999. 52p.
- GOUVEIA, F.N.; VITAL, B.R.; SANTANA, M.A.E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.3, p.365-370, 2003.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPPEF, 2005. 245p.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, L.K. Produção de chapas de partículas orientadas "OSB" de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camadas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.13, n.1, p.89-94, 2003.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, L.K.; SANTOS, J.C. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.46-52, 2004.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiber board manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1977. 672p.
- OKINO, E.Y.A.; ALVES, M.V.S.; TEIXEIRA, D.E.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E. Biodegradação de chapas de partículas orientadas de pinus, eucalipto e cipreste expostas a quatro fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.74, p.67-74, 2007.
- OKINO, E.Y.A.; CAMARGOS, J.A.A.; SANTANA, M.A.E.; MARQUES, M.H.B.; MARTINS, V.A.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Descrição dos caracteres tecnológicos da madeira de *Cupressus glauca* Lam. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.72, p.39-48, 2006.
- OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; ALVES, M.V.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Evaluation of the physical and biological properties of particleboard and flakeboard made from *Cupressus* spp. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Birmingham, v.53, p.1-5, 2004.
- OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; ALVES, M.V.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Physico-mechanical properties and decay resistance of *Cupressus* spp: cement-bonded particleboards. **Cement & Concrete Composites**, Essex, v.27, p.333-338, 2005.
- SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas**. São Paulo, 2001. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>. Acesso em: 20/08/2007
- SILVA, J.C. Perspectivas do setor florestal. **Revista da Madeira**, Curitiba, Edição especial eucalipto, p.04-06, 2003a.
- SILVA, J.C. Por que usar o eucalipto? **Revista da Madeira**, Curitiba, Edição especial eucalipto, p.18-21, 2003b.
- VIDAURRE, G.B.; SILVA, A.N.; ROCHA, J.D.S.; BRITO, E.O. Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da Mata Atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.14, n.1, p.235-242, 2004.
- VITAL, B.R.; CARNEIRO, A.C.O.; PIMENTA, A.S.; LUCIA, R.M.D. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para a produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.4, p.571-582, 2004.

Recebido em 28/08/2007

Aceito para publicação em 26/08/2008

