

Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus spp.* em diferentes combinações de camadasProduction of oriented strand board (OSB) from *Eucalyptus benthamii* and *Pinus spp* wood at different layer combinationLuciane Gorski¹, Alexsandro Bayestorff da Cunha², Polliana D'Angelo Rios²,
Rosilani Trianoski³ e Larissa Pasa Martarello¹

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar os painéis de partículas orientadas (OSB) de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus spp.* por meio das propriedades físicas e mecânicas. As partículas de *Eucalyptus* foram obtidas a partir de toras de reflorestamentos com 13 anos de idade, já as partículas de *Pinus spp.* foram provenientes de processo industrial, sendo composto pelo *mix* de partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. O delineamento experimental envolveu 5 tratamentos compostos por 3 camadas de partículas no colchão, dispostas perpendicularmente entre si na proporção 20:60:20, sendo: somente partículas de *Eucalyptus* (T1), somente de *Pinus* (T2), *Eucalyptus:Pinus:Eucalyptus* (T3), *Pinus:Eucalyptus:Pinus* (T4) e *Pinus+Eucalyptus* misturados em cada uma das camadas (T5). Os painéis foram produzidos com densidade de 0,65 g/cm³, 6% de resina fenol-formaldeído, 1% de emulsão de parafina e ciclo de prensagem de 180°C, 40 kgf/cm² por 8 minutos. Os ensaios foram realizados de acordo com a ASTM (2002) e a DIN (1982). Na análise dos resultados foi aplicada a Análise de Variância e Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade, além da comparação com os parâmetros da norma CSA (1993). Os resultados demonstraram que os painéis do T1 apresentaram os melhores resultados para absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura, porém os valores não foram satisfatórios quando comparados com a norma de referência. Para propriedades mecânicas, em geral, os melhores resultados foram obtidos no tratamento T2 com 100% de partículas de *Pinus*.

Palavras-chave: *Eucalyptus Benthamii*; Espécie alternativa; OSB; Colchão de partículas; Propriedades tecnológicas.

Abstract

The aim of this study was to evaluate the oriented strand board (OSB) of *Eucalyptus benthamii* and *Pinus spp.* for physical and mechanical properties. The particles were obtained from 13 years old *Eucalyptus* logs and particles of *Pinus spp* were from industrial process, being composed of the mix of particles of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*. The experiment involved 5 treatment composed of 3 layers of particles in the mat, arranged perpendicular to each other in the ratio 20:60:20, namely: only particles of *Eucalyptus* (T1), only *Pinus* (T2), *Eucalyptus:Pinus:Eucalyptus* (T3), *Pinus:Eucalyptus:Pinus* (T4) and *Pinus+Eucalyptus* mixed in each of the layers (T5). The panels were produced with a density of 0.65 g/cm³, 6% phenol formaldehyde resin, 1% paraffin emulsion pressing cycle and 180°C, 40 kgf/cm² for 8 minutes. The assays were performed according to ASTM (2002) and DIN (1982). The analysis of variance and the Scott-Knott test at 95% probability was used, and the comparison of the CSA standard(1993). The results showed that the panels of T1 had the best results for water absorption, thickness swelling and spring-back, but the results were not satisfactory when compared with the reference standard. For mechanical properties, in general, the best results were obtained in treatment T2 with 100% *Pinus* particles.

Keywords: *Eucalyptus benthamii*; alternative species; OSB; mattress particle; technological properties.

¹Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro -88520-000 - Lages, SC. E-mail: lu_gorski@hotmail.com; lari_pasa@msn.com.

²Professor doutor do Departamento de Engenharia Florestal. da UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luiz de Camões, 2090, Conta Dinheiro -88520-000 - Lages, SC. E-mail: alexsandro.cunha@udesc.br; polliana.rios@udesc.br.

³Professora Doutora do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR – Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico – 80210-170 - Curitiba, PR. E-mail: rosillani@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O OSB (*Oriented Strand Board*) é um produto que está no mercado mundial desde o início da década de 80, sendo considerado como a segunda geração dos painéis *Waferboard* (MENDES, 2010). No Brasil, a produção de OSB ainda é muito incipiente, começando a produzir painéis somente no ano de 2002 e contando atualmente com uma única fábrica localizada na cidade de Ponta Grossa – PR.

Os painéis OSB são produzidos a partir de partículas finas e longas, denominadas “*strands*”, as quais são unidas umas as outras pela ação da resina, da pressão e das altas temperaturas. Suas partículas são orientadas em camadas, geralmente três, sendo a camada interna posicionada perpendicularmente as externas (MALONEY, 1993).

As propriedades e a qualidade dos painéis OSB são influenciadas por diversos fatores, tanto inerentes à madeira quanto ao processo, merecendo destaque segundo Surdi (2012), a densidade e a composição estrutural do painel. Com relação ao sentido de orientação das partículas nas camadas, Mendes (2010) cita alguns exemplos de porcentagens utilizadas na composição face:miolo:face de painéis OSB experimentais: camada única; 5:90:5; 10:80:10; 15:70:15; 20:60:20; 25:50:25; 30:40:30; 33,3:33,3:33,3, entre outros, porém Cloutier (1998) afirma que a proporção ideal é na faixa de 20:60:20 a 30:40:30.

Quanto à madeira, Castro et al. (2012) afirmam que a produção nacional de OSB utiliza predominantemente madeira de *Pinus* spp. No entanto, com a crescente demanda desse produto e, sendo esta madeira utilizada para diversas outras finalidades, seu estoque pode não ser suficiente, sendo necessária a busca de novas espécies que possam se adequar ao processo.

De acordo com Gouveia et al. (2003), a utilização de diferentes espécies e misturas na fabricação dos painéis OSB é descrita em diversas pesquisas, mostrando viabilidade técnica em muitas situações como relatado por Iwakiri et al. (2004) que estudou seis espécies de *Eucalyptus*: *E. maculata*, *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. citriodora*, *E. tereticornis* e *E. saligna*; Cabral et al. (2006) que utilizou *E. grandis*, *E. urophylla*, *E. cloeziana* e *Pinus elliottii*; Iwakiri et al. (2008) que utilizou *E. grandis* e *E. dunnii*; e Castro et al. (2012) no seu trabalho com *Pinus oocarpa* e *E. grandis*.

Neste contexto, observa-se que a madeira do gênero *Eucalyptus* pode ser uma opção viá-

vel para a composição de painéis OSB pelo fato de apresentar grande incidência de tensões de crescimento que resultam em rachaduras e empenamentos, prejudicando o rendimento para serraria. Isto agregaria valor, aproveitaria madeiras de baixa qualidade (com rachaduras, nós, diâmetros menores) e poderia inserir no mercado brasileiro um produto com qualidades tecnológicas adequadas.

Dentre as espécies de *Eucalyptus*, uma que vem se destacando na região sul do Brasil, especialmente nos Estado de Santa Catarina e Paraná é o *Eucalyptus benthamii*, devido a sua resistência a baixas temperaturas e tolerância à geadas (GRAÇA et al., 1999), assim, alcançando boa adaptação aos plantios do sul do Brasil. Desta forma, essas regiões com invernos rigorosos teriam mais uma opção de espécie florestal de rápido crescimento para abastecer o segmento, haja vista que é principalmente nestes Estados que se encontram o maior número de empresas de painéis de madeira.

O objetivo do estudo foi avaliar a produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage e *Pinus* spp. em diferentes combinações entre as camadas, bem como determinar a influência da composição das camadas nas propriedades tecnológicas dos painéis.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois tipos de material, um proveniente de árvores de *E. benthamii* e o outro do mix de partículas de duas espécies do gênero *Pinus*.

O material de *E. benthamii* foi proveniente de toras de reflorestamentos com 13 anos de idade localizados na cidade de Palmeira – SC, as quais possuíam comprimento de 2,40 m e diâmetro variando entre 20 e 30 cm. No estudo foram utilizadas 20 toras que foram desdobradas pelo sistema tangencial, resultando em peças de madeira serrada de 240 x 0,8 x 0,25 cm. Estas peças foram destopadas de 8 em 8 cm e posteriormente imersas em água à temperatura para facilitar o processo de geração das partículas “*strand*”. Por fim, as dimensões médias das partículas após a classificação foram de 80 x 25 x 0,50 mm.

O outro material utilizado foi constituído por partículas “*strand*” de processo, sendo composto por um mix de 80% de *Pinus taeda* e 20% de *Pinus elliottii*. As dimensões médias destas partículas foram de 115 x 27 x 0,70 mm.

Todas as partículas passaram pelo processo de secagem em estufa a temperatura de 80°C até atingirem teor de umidade aproximado de 4%.

O delineamento do experimento foi composto por 5 tratamentos compostos pelas duas composições de partículas, *E. benthamii* e mix de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, combinadas em três camadas posicionadas perpendicularmente entre si, conforme tabela 1. Em cada tratamento, foram produzidos três painéis, totalizando 15 ao final do experimento.

Os painéis foram produzidos com densidade de 0,65 g/cm³ e dimensões de 49,0 x 42,0 x 1,50 cm. A resina utilizada foi fenol-formaldeído com teor de sólidos de 51,16% e 480 cP de viscosidade. A quantidade de resina aplicada foi de 6%, com base no peso seco das partículas, além do uso de 1% de emulsão de parafina com 48,62% de teor de sólidos.

Para a orientação das partículas e formação do colchão com camadas cruzadas com a composição face:miolo:face de 20:60:20 lançou-se mão do uso de uma caixa formadora. Posteriormente fez-se a prensagem a frio em prensa manual com 0,5 MPa, e em seguida a prensagem a quente em temperatura de 180°C e pressão específica de 3,9 MPa durante 8 minutos.

Os ensaios tecnológicos executados foram: ensaios físicos de densidade, absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura de acordo com os procedimentos da ASTM (2002); e ensaios mecânicos de flexão estática e ligação interna pelas normas DIN (1982) e ASTM (1993), respectivamente.

Na avaliação estatística aplicou-se a Análise de Variância e Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade para comparação de médias. Além destas análises, os valores foram comparados com os parâmetros da norma CSA (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

Os resultados por tratamento da densidade dos painéis, razão de compactação e teor de umidade estão apresentados na tabela 2, onde pode ser observado que a média de densidade entre os tratamentos foi de 0,64 g/cm³, sendo que não foi evidenciada diferença estatística. Os valores encontrados classificam os painéis como de média densidade, conforme estudo realizado por Iwakiri (2005) que estabelece intervalo entre 0,59 a 0,80 g/cm³ para tal categoria.

Mendes (2001) afirma que a homogeneidade da densidade dos painéis, dentro dos painéis produzidos e entre os tratamentos, é um indicativo de que houve uniformidade no processo de deposição das partículas.

Os resultados da razão de compactação (RC) variaram de 1,22 (T1) a 1,52 (T2). Deste modo, pode-se dizer que os tratamentos atingiram a faixa de compactação recomendada por Maloney (1977) para que os painéis apresentem boa resistência mecânica, que é de 1,30 a 1,60, exceto o T1 (E:E:E), embora tenha sido estatisticamente igual aos tratamentos T4 (P:E:P) e T5 (P+E:P+E:P+E).

Tabela 1. Delineamento experimental.

Table 1. Experimental design.

Tratamento	Composição das camadas (face:miolo:face)	Proporção das camadas (face:miolo:face)	Número de painéis
T1	P : P : P	20:60:20	3
T2	E : E : E	20:60:20	3
T3	P : E : P	20:60:20	3
T4	E : P : E	20:60:20	3
T5	P + E : P + E : P + E	20:60:20	3

E: *E. benthamii*; P: Mix de *P. taeda* e *P. elliottii*.

Tabela 2. Valores médios para densidade, razão de compactação e teor de umidade.

Table 2. Mean values for density, compression ratio and moisture content.

Tratamento	DP (g/cm ³)	RC	TU (%)
T1 E:E:E	0,65 a	1,22 b	10,4 b
T2 P:P:P	0,62 a	1,52 a	11,3 a
T3 E:P:E	0,64 a	1,40 a	9,9 c
T4 P:E:P	0,65 a	1,35 b	9,4 d
T5 P+E:P+E:P+E	0,62 a	1,33 b	9,2 d
Média	0,64	1,36	10,04
CV (%)	8,56	8,90	2,66

E: *E. benthamii*; P: Mix de *P. taeda* e *P. elliottii*. DP: densidade dos painéis. RC: razão de compactação. TU: teor de umidade. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Mendes et al. (2002) menciona que as espécies para a produção de painéis OSB devem estar dentro da faixa desejada de densidade (0,25 a 0,45 g/cm³), porém, complementa que espécies com densidade entre 0,45 g/cm³ e 0,55 g/cm³ podem ser utilizadas, todavia, são menos desejáveis, podendo também, ser utilizadas em misturas com outras espécies de forma a não reduzir as propriedades mecânicas dos painéis. Este fato pode ter ocorrido no presente estudo, haja vista que o tratamento composto por *E. benthamii* apresentou baixa RC provavelmente devido a alta densidade da madeira, 0,528 g/cm³, conforme Baldin et al. (2013).

Para painéis formados com 6 espécies diferentes de *Eucalyptus*, Iwakiri et al. (2004) também encontraram resultados inferiores ao desejado para razão de compactação que variaram de 0,85 a 1,13; além dos painéis compostos por *Pinus taeda*, que serviu de referência por ser a espécie mais empregada comercialmente na produção de OSB, que resultou em RC de 1,46. Já Gouveia et al. (2003) encontraram valores superiores para razão de compactação, 1,54 para mistura de *P. elliottii* e *E. grandis*, 1,51 na formação E:P:E e 1,59 na P:E:P.

Comparando com os dois estudos, nota-se que os valores de RC para os painéis homogêneos de *Eucalyptus* foram superiores ao encontrado por Iwakiri et al. (2004), porém inferiores as misturas de espécies trabalhadas por Gouveia et al. (2003).

Em relação ao teor de umidade dos painéis, a maior média, 11,3% (T2) foi obtida no tratamento composto exclusivamente por partículas de *Pinus*. Entretanto, os tratamentos compostos por *Pinus* nas faces e *Eucalyptus* no miolo (T4) e mistura das espécies nas camadas (T5) apresentaram os menores valores após o período de climatização.

A justificativa para a redução da higroscopicidade é devido à redução da madeira em partículas e a posterior incorporação de resina e parafina (WU, 1999), e principalmente, às altas temperaturas aplicadas durante a etapa de prensagem. Além disto, os painéis multicamadas formados por diferentes espécies, tendem a ter menos sítios de absorção disponíveis quando as de menor densidade estiverem nas camadas superficiais (DEL MENEZZI, 2004) em função da maior compactação das camadas externas do painel, e também da camada interna (menos compactada) ser formada por partículas de espécies de maior densidade, ou seja, menor porosidade para a entrada da água.

Resultados de teor de umidade semelhantes foram obtidos em outras pesquisas com painéis OSB de *Pinus* sp.: Del Menezzi (2004) obteve teor de umidade dos painéis de 9,27%, Mendes (2010) encontrou 8% para seus painéis com *P. taeda*, Surdi (2012) em seu estudo com *P. elliottii* e *P. caribaea* encontrou média de 9,9% e Souza et al. (2012) encontrou 10,3%. Trabalhando com *E. grandis* e *Cupressus glauca*, Okino (2008) obteve umidade de 8%.

Em escala comercial, a empresa produtora de painéis OSB no Brasil adota uma faixa aceitável de 2 a 12% de umidade em seus produtos finais (LP, 2014).

Os valores médios para absorção de água em 2 e 24 h (Tabela 3) foram de 35,66% e 76,24%, respectivamente, sendo o T2 composto por 100% de partículas de *Pinus* o que apresentou maior valor de absorção nos dois períodos analisados. Já o T1, composto por 100% de partículas de *Eucalyptus*, foi o que apresentou valor médio mais baixo, enquanto os tratamentos com misturas de espécies nas camadas apresentaram valores intermediários.

Tabela 3. Valores médios para absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão em água, e taxa de não retorno em espessura.

Table 3. Mean values of water absorption and thickness swelling, 2 and 24 hours after immersion in water, and spring back.

Tratamento		AA 2h	AA 24h	IE 2h (%)	IE 24h	TNRE
T1	E:E:E	19,3 b	60,5 c	9,0 b	32,1 b	26,5 c
T2	P:P:P	53,1 a	88,7 a	20,6 a	34,5 b	31,2 b
T3	E:P:E	33,1 b	79,8 b	13,2 b	34,8 b	31,7 b
T4	P:E:P	31,2 b	74,2 b	13,9 b	42,5 a	40,3 a
T5	P+E:P+E:P+E	41,1 a	79,5 b	15,3 b	38,0 a	32,5 b
Média		35,66	76,54	14,40	36,38	32,44
CV (%)		32,19	10,26	29,46	10,64	12,63

E: *E. benthamii*; P: Mix de *P. taeda* e *P. elliottii*. AA: absorção de água. IE: inchamento em espessura. TNRE: taxa de não retorno em espessura. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Cabe destacar que o tratamento que apresentou o maior valor de absorção de água foi composto pela madeira de menor densidade (*Pinus spp.*) e que também atingiu o maior valor de razão de compactação (1,52). Este fato pode ser explicado pela grande quantidade de espaços vazios possíveis de preenchimento pela água, ou seja, maior porosidade da madeira e também pela maior concentração de material lenhoso nos painéis com alta razão de compactação.

Segundo Kelly (1977), há influência da maior razão de compactação acontece em função da maior quantidade de partículas de madeira e, consequentemente, um aumento dos sítios higroscópicos, no entanto, resulta em maior inchamento do painel e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem.

Para absorção de água, Mendonça (2008) encontrou para painéis de *E. urophylla* valores variando de 29,94% a 41,47% para AA 2h e para 24h os resultados foram no máximo até 68,43%. Comparativamente, Iwakiri et al. (2004), trabalhando com 6 espécies de *Eucalyptus*, encontrou os valores médios de inchamento em espessura variaram de 8,88% a 48,64% para 2 horas de imersão em água e de 15,71% a 67,05% para 24 horas de imersão. Surdi (2012) encontrou 24,28% para IE 2h e 37,95% para IE 24h trabalhando com *Pinus*.

Quanto ao inchamento em espessura, a tabela apresenta valores que variaram de 9,0 a 20,6% para inchamento em espessura 2 horas e de 32,1 a 42,50% para inchamento em espessura 24 horas. Para 2 horas, o inchamento em espessura teve a mesma tendência dos ensaios de absorção de água, ou seja, maior valor no T2 com 20,6%, enquanto que para 24 horas, o maior valor foi obtido pelo T4 composto por *Pinus* nas faces e *Eucalyptus* no miolo.

A CSA (1993) determina para propriedades físicas apenas o valor de inchamento após 24 horas de imersão para fins de atendimento a norma, que deve ser no máximo de 15% para painéis de 12,7 mm de espessura ou menores e 10% para painéis superiores a 12,7 mm de espessura (SBA, 2006). Observa-se que os valores do presente estudo ficaram acima do exigido pela norma, embora tenha sido aplicada parafina para melhorar este parâmetro.

Buscando outros pesquisadores, nota-se que o problema do não atendimento a norma para o IE 24h é recorrente, demonstrando que a norma é bastante exigente quanto a esse requisito, conforme Surdi (2012), que em seu estudo

também obteve valores médios superiores ao estipulado pela norma. Resultados semelhantes também foram observados por Gouveia (2001), Mendes et al. (2002), Mendonça (2008), Iwakiri et al. (2008), Saldanha et al. (2009), Souza et al. (2012).

Para TNRE, a qual expressa o inchamento definitivo do painel, que é justamente aquele oriundo da liberação das tensões internas de compressão, (DEL MENEZZI, 2004), os resultados variaram de 26,5 a 40,3%, destacando o T1 com a menor taxa em relação aos demais tratamentos. Sendo que quanto menor este valor, melhor a estabilidade dimensional dos painéis OSB, sobretudo em ambientes que possuem uma grande variação de umidade durante as estações do ano, (MENDES, 2001).

Com resultados semelhantes, pode-se citar Surdi (2012) trabalhando com híbridos de *Pinus* que encontrou 31,02% para TNRE e Mendonça (2008) analisando clones de *E. urophylla* encontrou valores de 14,61% a 20,67%.

Propriedades mecânicas

A tabela 4 apresenta os valores médios de MOR e MOE paralelos e perpendiculares, onde pode-se observar a partir dos resultados de módulo de ruptura que houve diferença estatística entre os tratamentos tanto no sentido paralelo, quanto no perpendicular. As maiores médias foram obtidas no T2, composto por 100% de partículas de *Pinus*, tanto no sentido paralelo, quanto no perpendicular.

Para os resultados de módulo de elasticidade no sentido paralelo o T3 composto por *Eucalyptus* nas faces e *Pinus* no miolo foi o que apresentou o melhor resultado, porém no sentido perpendicular este tratamento só não foi equivalente estatisticamente ao T4, composto por *Pinus* nas faces e *Eucalyptus* no miolo.

A relação positiva entre densidade e propriedades mecânicas (MENDES et al., 2003; SOBRAL FILHO, 1981; ZHOW, 1990; ZHANG et al., 1998) não foi encontrada para os tratamentos avaliados, no entanto houve relação direta entre essas propriedades e a razão de compactação dos painéis.

Quanto ao sentido de aplicação da carga em relação à distribuição das partículas durante o ensaio de flexão estática, observa-se que média da resistência à ruptura (MOR) no sentido paralelo (33,58 MPa) foi maior que no sentido perpendicular (31,02 MPa). Este fato também foi encontrado para a rigidez, onde o MOE paralelo

Tabela 4. Valores médios para módulo de ruptura e módulo de elasticidade.
Table 4. Mean values of modulus of rupture and modulus of elasticity.

Tratamento		MOR paralelo	MOR perpendicular	MOE paralelo	MOE perpendicular
		(MPa)			
T1	E:E:E	28,6 c	22,4 b	5608,0 b	2595,1 a
T2	P:P:P	45,9 a	49,9 a	4960,8 b	3136,7 a
T3	E:P:E	34,8 b	38,7 a	6567,8 a	2580,4 a
T4	P:E:P	20,8 c	16,4 b	2997,5 c	1549,9 b
T5	P+E:P+E:P+E	37,8 b	27,8 b	4775,3 b	2299,5 a
Média		33,58	31,02	4981,87	2432,30
CV (%)		23,44	30,17	17,94	27,75

E: *E. benthamii*; P: Mix de *P. taeda* e *P. elliottii*. MOR: módulo de ruptura. MOE: módulo de elasticidade. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

médio entre os tratamentos foi de 4981,87 MPa e o perpendicular 2432,30 MPa. Isto se dá em função da camada interna se encontrar com as fibras das partículas paralelas à força aplicada, sendo que, no sentido paralelo às fibras, a situação é inversa. Este fato vai ao encontro de outros estudos como os de Saldanha (2004); Mendes et al. (2012); Surdi (2012).

Valores inferiores em relação a este estudo foram obtidos por Mendes et al. (2007), trabalhando com OSB de clones de *Eucalyptus*, resina fenólica e proporção 25:50:25, que encontraram valores médios de MOE paralelo igual a 3108 MPa e 958 MPa para MOE perpendicular. Para MOR paralelo o resultado foi de 25 MPa e 12 MPa para o perpendicular. Também com médias menores, Bortoletto Júnior e Garcia (2004) obtiveram para o MOR paralelo e perpendicular 25 e 16 MPa, respectivamente; para MOE paralelo e perpendicular os resultados foram 3987 e 1756 MPa, respectivamente, trabalhando com painéis OSB comerciais de 15 mm de espessura.

De acordo com SBA (2006), para às variáveis MOR e MOE no ensaio de flexão estática, a norma CSA (1993) estabelece duas classes de painéis OSB, sendo O-1 e O-2. Para o OSB ser enquadrado na classe O-1, os valores mínimos de resistência e rigidez são: MOR paralelo e perpendicular de 23,4 e 9,6 MPa, respectivamente; e MOE paralelo e perpendicular de 4500 e 1300 MPa, respectivamente. Para o OSB ser enquadrado na classe O-2, os valores mínimos de resistência e rigidez exigidos são: MOR paralelo e perpendicular de 29,0 e 12,4 MPa, respectivamente; e MOE paralelo e perpendicular de 5.500 e 1.500 MPa. Conforme estes parâmetros, somente o tratamento 2 foi classificado como O-2, sendo os demais como O-1.

Para os resultados obtidos no ensaio de ligação interna, o valor médio encontrado foi de 0,56 MPa, já o intervalo variou entre 0,48 MPa (T4) e 0,68 MPa (T2), havendo desta forma, di-

ferença estatística somente em relação ao tratamento 2 que foi superior aos demais.

Para ligação interna, o mínimo exigido pela norma CSA (1993) é 0,345 MPa, sendo a determinação igual para O-2 e O-1, assim, todos os tratamentos atenderam a norma.

Pode-se observar que a maior valor médio do ensaio de ligação interna (0,68 MPa) foi obtido pelos painéis que apresentaram a maior razão de compactação (1,52). Saldanha (2004), Wu (2000) e MENDES (2001) afirmam que o aumento da razão de compactação provoca um maior volume de partículas na composição da chapa, propiciando uma melhora nesta propriedade.

Um fator importante para a ligação interna é relação entre a densidade da madeira e a cola-gem. César (2011) explica que a penetração do adesivo é maior em madeiras de baixa densidade quando comparadas com madeiras de alta densidade, isto, porque quanto maior a densidade, mais espessas as paredes das células e, por consequência, menor a quantidade de espaços vazios na madeira. Assim, explica-se o melhor desempenho dos painéis compostos por *Pinus* em comparação aos de *Eucalyptus*.

Tabela 5. Valores médios de ligação interna.

Table 5. Mean values of internal bonding.

Tratamento	LI (MPa)
T1 E:E:E	0,52 b
T2 P:P:P	0,68 a
T3 E:P:E	0,54 b
T4 P:E:P	0,48 b
T5 P+E:P+E:P+E	0,58 b
Média	0,56
CV (%)	11,31

E: *E. benthamii*; P: Mix de *P. taeda* e *P. elliottii*. LI: ligação interna. CV: coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, a 95% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott.

Comparativamente, Iwakiri et al. (2003) encontraram a mesma resistência, 0,52 MPa, para chapas de *E. grandis* com composição

face:miolo:face de 20:60:20. Mendes et al. (2007) encontraram valor inferior, 0,39 MPa, para a resistência a ligação interna de painéis com partículas de clones de *Eucalyptus spp*. Já para painéis OSB produzidos com partículas de um híbrido de *Pinus*, Surdi (2012) obteve a média de 0,54 MPa.

Outra pesquisa que pode ser citada como exemplo foi realizada por Iwakiri et al. (2004), os autores testaram diversas espécies de Eucalipto na produção de painéis OSB comparativamente aos com *P. taeda*. Nos ensaios de ligação interna obtiveram resultados que não atenderam à norma, foi o caso dos painéis formados por *E. tereticornis*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. dunni* que obtiveram resistência de 0,11; 0,12; 0,16 e 0,27 MPa, respectivamente. Já as outras espécies do estudo, *E. grandis*, *E. saligna* e *P. taeda*, resultaram em valores superiores à norma.

Embora os resultados tenham sido satisfatórios, observou-se que o rompimento dos corpos de prova durante os testes de ligação interna não foi homogêneo. A maioria dos corpos de prova dos tratamentos T3 e T4, os quais eram formados por camadas de espécies distintas, romperam-se na transição das camadas e não na parte central. Este fato também foi relatado por Gouveia et al. (2003) que explica este comportamento pela diferença entre as espécies, como a densidade da madeira e o volume de material por camada, que influencia a qualidade da colagem.

CONCLUSÕES

Os painéis de média densidade compostos por partículas de *Pinus spp* e *Eucalyptus benthamii* sofreram influência da densidade das espécies no que tange a razão de compactação, onde os painéis homogêneos formados com a espécie de maior densidade não atingiram o parâmetro recomendado pela literatura.

Na instabilidade dimensional dos painéis (absorção de água e inchamento em espessura), nenhum tratamento ficou dentro do recomendado pela norma de referência, CSA (1993). Entretanto, ressalta-se que os painéis homogêneos formado por *Eucalyptus benthamii* apresentaram os melhores resultados para as propriedades supracitadas.

Conforme os parâmetros da norma CSA (1993) para flexão estática, somente o tratamento 2 (100% de partículas de *Pinus spp*) foi classificado como 0-2, sendo os demais como 0-1. Já para ligação, todos os tratamentos atingiram os valores mínimos das duas classificações.

AGRADECIMENTOS

As empresas LP Brasil, Klabin S.A., Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA, SI Group Crios Resinas e a Indústria de Compensados Sudati LTDA. Ao SENAI – Unidade Lages.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D-1037: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. Philadelphia, p. 1-30, 2002.

BALDIN, T.; SOUZA, J. T.; MENEZES, W. M.; HASELEIN, C. R. Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 1; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3, 2013, Petrópolis. *Anais...* Seropédica: SBCTEM/UFRRJ, 2013. p. 210-211.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. R. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 659-668, 2006.

CASTRO, M. B.; CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F. Resistência mecânica de painéis OSB de pinus e eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., 2012, Vitória. *Anais...* Vitória: UFES, 2012.

CÉSAR, A. A. S. *Estudo da interação adesivo-partículas em painéis OSB (Oriented Strand Board)*. 2011. 88 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

CLOUTIER, A. Oriented strandboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

- CSA - CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. CSA 0437.0: OSB and Waferboard. Ontario, 1993, 18 p.
- DEL MENEZZI, C. H. S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2004. 242 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- DIN - NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. DIN 52362: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982, 40 p.
- 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. 81 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- 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.
- GRAÇA M. E. C.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.; GOMES, J. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. *Boletim de Pesquisa Florestal*, Colombo, n. 39, p.135-138, jul./dez. 1999.
- 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. Painéis de madeira aglomerada. In: _____. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUIPEF, 2005. cap. 4, p.123-160.
- IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K.; SANTOS, J. C. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. *Cerne*, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2004.
- IWAKIRI, S.; MENDES, S. A.; IWAKIRI, S.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunni* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, abr./jun. 2008.
- KELLY, M. W. **A critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: Forest Service, 1977. 66 p. (USDA FPL General Technical Report, 10)
- LP BUILDING PRODUCTS. **Produtos**. 2014. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/>>. Acesso em: 15 mar. 2014.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publication, 1977, 672 p.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. 2.ed. São Francisco: Miller Freeman Publication, 1993. 689 p.
- MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 103 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, L. M.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR., S.; SALDANHA, L. K. Efeitos da densidade, composição dos painéis e teor de resina nas propriedades de painéis OSB. *Floresta e Ambiente*, v. 10, n. 1, p. 01-17, jan./jul. 2003.
- MENDES, L. M., IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; KEINERT JR., S.; SALDANHA, L. K. *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB). *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 135-145, 2002.
- MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; CARVALHO, A. G.; SILVA, F. A.; GUIMARÃES JR., J. B. Efeito da inclusão laminar e do tipo de adesivo sobre as propriedades de painéis OSB de *Pinus oocarpa*. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 116-127, nov. 2012.
- MENDES, S. A.; MENDES, L. M.; CHAVES, M. D.; MORI, F. A.; SILVA, J. R. M.; TRUGILHO, P. F. Utilização de resinas alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. *Cerne*, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, jul./set. 2007.

- MENDONÇA, L. L. **Produção de painéis de madeira com clones de *Eucalyptus urophylla*: estudo de caso para uso na indústria de móveis e construção civil.** 2008. 129 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - REDEMAT (UFOP – CETEC – UEMG), Belo Horizonte, 2008.
- OKINO, E. Y. A., Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, 2008.
- REMADE. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 84, out. 2004. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=630&subject=Valor%20Agregado&title=Mercado%20estimula%20produtos%20de%20madeira%20com%20valor%20agregado>. Acesso: 03 fev. 2014.
- SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para a produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. 2004. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
- SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S.. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571 - 576, 2009.
- SBA - STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION. **OSB Rendimientos preconcebidos: Tableros OSB em la construcción con armazones de madera.** Ontario, 2006. 26 p.
- SOBRAL FILHO, M. Influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels. **Forest Products Journal**, Madison, v.31, n. 9, p. 43 – 52, 1981.
- SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S.; GUIMARÃES JR., J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de *Pinus* de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 8, n. 4, 2012.
- SURDI, P. G. **Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) a partir da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* X *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.** 2012. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- ZHANG, M.; WONG, E. D.; KAWAI, S.; KNON, J. H. Manufacture and properties of high-performance oriented strand board composite using thin strands. **Japan Wood Science**, Tokyo, n. 44, p. 191- 197, 1998.
- ZHOW, D. A study of oriented structural board made from hybrid poplar. Physical and mechanical properties of OSB. **Holz Als Roh Und Werkstoff**, Berlin, v. 48, n. 7-8, p. 293 - 296, 1990.
- WU, Q. Application of Nelson’s sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p. 227 - 239, 1999.
- WU, Q.; REN, Y. Characterization of sorption behavior of oriented strandboard under long-term cyclic humidity exposure condition. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 32, n. 4, p. 404-418. 2000.

Recebido em 14/04/2014

Aceito para publicação em 09/02/2015

