

Produção de painéis de madeira aglomerada de  
*Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*Particleboard manufacture from  
*Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*Alexsandro Bayestorff da Cunha<sup>1</sup>, Bruna Laís Longo<sup>2</sup>,  
Aline Almada Rodrigues<sup>3</sup> e Denys Roberto Brehmer<sup>4</sup>**Resumo**

O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos com três espécies do gênero *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. dunnii* e *E. benthamii*), provenientes de reflorestamentos com 13 anos. O estudo envolveu a produção de painéis com as espécies puras e com o mix entre elas, totalizando sete tratamentos. Foi utilizada a resina uréia-formaldeído e a emulsão de parafina. O ciclo de prensagem foi de 160°C de temperatura e 40 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão por período de 8 minutos. Foram realizados ensaios físicos e mecânicos, conforme os procedimentos da NBR 14810 (ABNT, 2006), os quais foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade. Mediante os resultados dos ensaios físicos e mecânicos pode-se concluir que os painéis produzidos com as 2 espécies florestais alternativas, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*, tanto na forma pura, como no mix entre as espécies apresentam potencial de utilização para o segmento, quando comparadas com o *Eucalyptus grandis*. No entanto, faz-se necessário a adequação da granulometria das partículas e das variáveis da prensagem para atendimento as normas de qualidade, no que se refere aos valores de módulo de ruptura e elasticidade à flexão estática.

**Palavras-chave:** Painéis de média densidade; espécies alternativas; propriedades físico-mecânicas.

**Abstract**

The objective of this work was to evaluate the physical and mechanical properties of the particleboard produced with three species of the genus *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. dunnii* and *E. benthamii*), from reforestation with 13 years. The work involved the production of panels with the pure species and the mix between them, a total of seven treatments. Was used the urea formaldehyde resin and paraffin emulsion. The pressing cycle was 160°C and 40 kgf/cm<sup>2</sup> pressure and pressing time of 8 minutes. Were conducted physical and mechanical tests according to the procedures of NBR14810 (ABNT, 2006), which were submitted to analysis of variance and Scott-Knott's test at 95% probability. From the physical and mechanical properties it can be concluded that panels produced with the 2 alternative forest species, *Eucalyptus dunnii* and *Eucalyptus benthamii*, both in pure form and in the mix of species have potential use for the segment, compared to the *Eucalyptus grandis*. However, it is necessary to fit the particle size and the variable of pressing to attend quality standards, in relation to the values of modulus of rupture and elasticity to static bending.

**Keywords:** Medium density particleboard; alternative species; physical-mechanical properties.

**INTRODUÇÃO**

Segundo dados da ABRAF (2013), o setor de painéis de madeira industrializada, que é formado principalmente por indústrias de painéis MDP (*Medium Density Particleboard*), MDF (*Me-*

*dium Density Fiberboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*), encontra-se em expansão no Brasil. Ainda segundo a associação, nos últimos 10 anos, a produção anual de painéis teve um crescimento médio de 8,9% ao ano, o que é devido a substituição do uso de compensados pelos painéis de

<sup>1</sup>Professor Doutor do Departamento de Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luis de Camões, 2090, Lages, SC – 88520-000. E-mail: [a2abc@cav.udesc.br](mailto:a2abc@cav.udesc.br)

<sup>2</sup>Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina. Av. Luis de Camões, 2090, Lages, SC – 88520-000. E-mail: [bruna.lais@florestal.eng.br](mailto:bruna.lais@florestal.eng.br)

<sup>3</sup>Graduanda em Engenharia Florestal. UEMS - Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul. Rodovia Aquidauana, km 12, Aquidauana, MS - 79200-000 – E-mail: [alininha\\_ar@hotmail.com](mailto:alininha_ar@hotmail.com)

<sup>4</sup>Engenheiro Florestal. – Rua Leônidas Rupp, 300, Centro, Campos Novos, SC – 89620-000 – E-mail: [denysbrehmer@florestal.eng.br](mailto:denysbrehmer@florestal.eng.br)

madeira industrializada na produção moveleira, além do cenário econômico interno, onde o aumento de renda e o crescimento da construção civil impulsionam o mercado imobiliário e o consumo de bens duráveis.

Trianoski (2010) cita que para atender esta demanda de matéria prima, torna-se necessário não somente aumentar as áreas de plantio com espécies atualmente utilizadas, mas também buscar outras opções de espécies com rápido crescimento que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa para suprir as necessidades das indústrias, bem como, contribuir para o desenvolvimento e geração de novos produtos. Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de espécies florestais alternativas pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades dos painéis de madeira aglomerada, principalmente devido às diferentes características inerentes a espécie.

A utilização da madeira de *Eucalyptus* na produção de painéis de madeira aglomerada tem como principais limitações, segundo Haselein (1989), a colagem deficiente e absorção excessiva da água, e segundo Kelly (1977) apud Naumann et al. (2008) a baixa compactação do colchão decorrente da alta massa específica da madeira, o que influencia nas propriedades tecnológicas dos painéis.

No entanto, diversos pesquisadores vêm demonstrando que há viabilidade na produção de aglomerados com algumas espécies de *Eucalyptus*, especificamente, o *E. grandis*, como no estudo de Mendes et al. (2010) que encontraram resultados satisfatórios das propriedades físico-mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com a madeira de *E. grandis* em diferentes posições radiais. Porém, Cabral et al. (2007) cita que o uso da maravalha de *E. grandis* para a fabricação de chapas de aglomerado deve ser feito de forma cautelosa, pois podem apresentar valores médios das propriedades inferiores aos mínimos estabelecidos pelas normas comerciais de qualidade.

Segundo Aguiar (1986), o *Eucalyptus grandis*, apesar de ter grande potencialidade para as indústrias de processamento mecânico, apresenta baixa tolerância a geadas, o que é frequente na região do planalto sul catarinense. Desta forma, nesta região, a espécie que se adapta melhor ao inverno rigoroso é o *E. dunnii*, que tem como produto principal o uso energético em função da baixa qualidade da madeira.

Outra espécie do gênero *Eucalyptus* que tem gerado expectativas para o setor é o *Eucalyptus*

*benthamii* Maiden et Cabbage que vem se destacando, segundo Lima et al. (2011), em função da tolerância a geadas, crescimento, forma e capacidade de rebrota. Diversos experimentos mostraram a boa adaptação da espécie ao clima, sobrevivendo à ocorrência de geadas e apresentado elevado índice de crescimento. Em Colombo, o *E. benthamii* apresentou aos 8 anos de idade, altura média de 18 m e DAP médio de 21 cm (HIGA, 1999).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com três espécies do gênero *Eucalyptus* (*E. grandis*, *E. dunnii* e *E. benthamii*), provenientes de reflorestamentos com 13 anos de idade.

## MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado no trabalho foi proveniente de reflorestamentos com 13 anos de idade, pertencentes à Empresa Klabin. Os reflorestamentos de *E. benthamii* e *E. dunnii* estavam localizados na cidade de Palmeira - SC. Já os plantios de *E. grandis* em Telêmaco Borba - PR. Foram utilizadas 20 toras de cada espécie com comprimento de 2,40 m e diâmetro variando de 20 a 30 cm.

As toras foram descascadas manualmente e transformadas em partículas por meio do picador de tambor e do moinho de martelo. A classificação das partículas foi realizada em um conjunto de peneiras vibratórias sendo utilizadas as que passaram na peneira de 8 mesh e ficaram retidas na de 14 mesh. O material foi seco em estufa a 80° C de temperatura até atingir teor de umidade de 4%.

O estudo envolveu a produção de painéis de densidade de 0,75 g/cm<sup>3</sup> com as espécies puras e com o mix entre elas. Assim, o delineamento experimental foi desenvolvido relacionando as partículas das três espécies de eucalipto em diferentes proporções, conforme apresentado na Tabela 1. Foi utilizada a resina uréia formaldeído com viscosidade de 450 cp e 66% de teor de sólidos, na proporção de 12% e 1% de emulsão de parafina, ambos calculados na base massa seca das partículas.

**Tabela 1.** Delineamento experimental.  
**Table 1.** Experimental plan.

Tratamento	<i>E. grandis</i>	<i>E. dunnii</i>	<i>E. benthamii</i>
1 (B)	-	-	100%
2 (D)	-	100 %	-
3 (G)	100%	-	-
4 (GD)	50 %	50 %	-
5 (GB)	50 %	-	50 %
6 (DB)	-	50 %	50 %
7 (BDG)	33,3 %	33,3 %	33,3 %

A produção dos painéis iniciou com a aplicação da resina e da emulsão de parafina em um tambor giratório provido de uma pistola pulverizadora. O colchão foi formado com dimensões de 40 X 40 X 1,5 cm, submetido a uma pré-prensagem a frio na pressão de 4 kgf/cm<sup>2</sup> por 5 minutos, e posteriormente a um ciclo de prensa com 160°C de temperatura, 40 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão específica por um tempo de 8 minutos. Cabe destacar que os valores das variáveis do ciclo de prensagem foram baseados em outros estudos desenvolvidos no laboratório e também em trabalhos científicos publicados em periódicos. Após a prensagem os painéis foram climatizados e esquadrejados em 37 X 37 cm, sendo retirados os corpos de prova para os ensaios físicos e mecânicos, tomando como referência os procedimentos da ABNT (2006).

A avaliação das propriedades dos painéis foi realizada por meio dos ensaios físicos de massa específica, razão de compactação, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura, e dos ensaios mecânicos de flexão estática, tração perpendicular e arrancamento do parafuso.

Os resultados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para avaliar a distribuição normal entre os dados e à análise de variância. Havendo rejeição da hipótese de igualdade, foi aplicado o Teste de Scott-Knott a 5% de significância para comparação de médias. Os resultados também foram comparados com os parâmetros das normas ABNT (2006) e ANSI (2009).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados para as propriedades físicas dos painéis, onde pode ser observado que a massa específica média foi de 0,75 g/cm<sup>3</sup>, sem diferença estatística entre os tratamentos, o que caracteriza os painéis como média massa específica, de acordo com a ABNT (2006) e ANSI (2009) que estabelecem intervalo de 0,55 à 0,75 g/cm<sup>3</sup> e 0,64 à 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente. Salienta-se que a massa específica do painel está relacionada com a taxa de compactação das partículas, dependendo, também, da umidade do colchão e de outros fatores. Assim, como a massa específica da madeira, a massa específica do painel tem influência sobre suas propriedades mecânicas (HILLIG et al., 2002).

Para a razão de compactação, foram tomados como referência os valores de massa específica

da madeira das três espécies que foram determinados em outros estudos no laboratório, onde o *E. benthamii* apresentou 0,52 g/cm<sup>3</sup>, o *E. dunnii* 0,55 g/cm<sup>3</sup> e o *E. grandis* 0,45 g/cm<sup>3</sup>. Já para os painéis com o mix das espécies, foram utilizados os mesmo valores, porém calculados nas proporções de cada espécie no painel. Desta forma, observa-se que todos os valores encontrados nos tratamentos estão no intervalo entre 1,3 e 1,6, conforme recomendado por Maloney (1993) e Moslemi (1974) para que ocorra um contato adequado entre partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas.

**Tabela 2.** Valores de massa específica, razão de compactação e umidade.

**Table 2.** Values of density, compaction ratio and moisture.

Tratamento	MEP (g/cm <sup>3</sup> )	MEM (g/cm <sup>3</sup> )	RC	TU (%)
1 (B)	0,75 a (5,33)	0,52 --	1,42 c (6,34)	10,32 a (1,84)
2 (D)	0,77 a (5,19)	0,55 --	1,40 c (5,00)	9,44 b (2,22)
3 (G)	0,73 a (2,74)	0,45 --	1,59 a (3,14)	9,36 b (1,92)
4 (GD)	0,76 a (3,95)	0,53 --	1,42 c (3,52)	9,49 b (2,32)
5 (GB)	0,76 a (5,26)	0,49 --	1,55 b (5,16)	10,16 a (1,57)
6 (DB)	0,75 a (5,33)	0,50 --	1,50 b (3,33)	9,33 b (3,00)
7 (BDG)	0,75 a (2,67)	0,50 --	1,48 b (3,38)	10,09 a (2,97)
Média	0,75	0,50	1,48	9,74

Legenda: MEP: massa específica dos painéis; MEM: massa específica da madeira; RC: razão de compactação; TU: teor de umidade. Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de média de Scott-Knott a 5% de significância.

Os valores de razão de compactação encontrados refletem o adequado processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final. No entanto, constata-se que a razão de compactação dos painéis foi diferenciada estatisticamente entre os tratamentos, o que está relacionado à massa específica da madeira, onde se observa que os painéis formados por partículas da espécie de menor densidade (*E. grandis*), foram os que apresentaram o maior valor de razão de compactação, 1,59. Porém, quando as partículas de *E. grandis* estão misturadas com as partículas das outras espécies, ocorre uma diminuição da razão de compactação em função da massa específica da espécies associada.

A umidade de equilíbrio atingida pelos painéis é menor que da sala de climatização que era de 12% em função da temperatura e umida-

de relativa do ambiente. Wu (1999) cita que a redução da higroscopicidade é devido à redução da madeira em partículas e a posterior incorporação de resinas, parafinas e outros aditivos, e, principalmente pela aplicação de altas temperaturas e pressão durante a consolidação do painel, as quais promovem a perda ou rearranjo das regiões higroscópicas da madeira, deixando o painel menos reativo a água (MENDES, 2001).

As médias do teor de umidade dos painéis variam entre 9,33 e 10,32%, no intervalo de 5 a 11%, conforme a norma ABNT (2006). Pode-se observar que os tratamentos que apresentam maiores valores de umidade de equilíbrio são os compostos pelo *E. benthamii* puro, pela mistura do *E. benthamii* com o *E. grandis* e pelo mix entre as 3 espécies.

Em referência a resultados disponíveis em literatura que comprovam a baixa umidade de equilíbrio em produtos de madeira reconstituída, e que se assemelham aos obtidos neste trabalho, pode-se citar, Cabral et al. (2007) com valores de 9,62% a 9,94% para painéis confeccionados com *Eucalyptus spp.* e *Pinus elliottii*, e Carneiro et al. (2009) com valores de 9,10% a 10,23% para painéis de madeira aglomerada de *Pinus elliottii*.

Na Tabela 3 estão apresentados os dados relativos à absorção de água e inchamento em espessura. Para absorção em 2 horas não houve diferença estatística entre os tratamentos, com exceção do tratamento 2, composto por partículas de *E. dunnii* com 27% de absorção de água em relação ao peso original dos corpos de prova. O resultado diferenciado dos painéis do tratamento 2 para absorção em 2 horas é evi-

denciado também na análise da absorção em 24 horas. Tal comportamento é devido a menor razão de compactação encontrada para os painéis deste tratamento (1,40).

No inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, observa-se que o maior valor foi encontrado no tratamento 7, com 25,92%. Já o menor e melhor valor foi do tratamento 6, com 11,6%, que não diferenciou estatisticamente dos demais, com exceção do tratamento 7. Cabe salientar, que tanto o tratamento 6 como o 7 apresentam valores de razão de compactação intermediários entre os tratamentos, assim, a justificativa para a diferenciação dos resultados nesta propriedade pode ser feita em função das variáveis de processo como aplicação desuniforme de resina e parafina dentro do tambor rotativo.

Trianoski (2010) quando do estudo da avaliação do potencial de espécies florestais alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada, encontrou os melhores resultados para as espécies de baixa densidade, que proporcionaram painéis com menor densidade e alta razão de compactação. A autora justificou a menor absorção de água pela menor área superficial e maior disponibilidade de resina, o que restringiu o fenômeno.

No entanto, este resultado não está de acordo com Melo e Del Menezzi (2010), que estudando painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com diferentes densidades (0,6 g/cm<sup>3</sup>; 0,7 g/cm<sup>3</sup> e 0,80 g/cm<sup>3</sup>), constataram que a maior absorção de água em painéis de menor densidade pode ter ocorrido por existir um maior volume de espaços vazios que possam ser ocupados por água.

**Tabela 3.** Valores médios para absorção e inchamento em espessura.  
**Table 3.** Mean values for absorption and thickness swelling.

Tratamento	Absorção (%)		Inchamento (%)		Absorção Superficial (mm)
	2 h	24 h	2 h	24 h	
1 (B)	15,85 b (22,40)	39,91b (14,01)	4,24 c (18,63)	15,41 b (13,50)	47,42 b (25,54)
2 (D)	27,30 a (12,86)	55,45 a (7,70)	5,05 b (18,61)	17,14 b (10,09)	46,89 b (19,32)
3 (G)	10,18 b (23,87)	27,55 b (16,52)	6,48 b (19,44)	16,45 b (18,60)	84,76 a (8,65)
4 (GD)	12,18 b (11,08)	38,79 b (8,33)	4,63 b (17,28)	17,41 b (10,97)	49,46 b (16,32)
5 (GB)	10,87 b (28,88)	29,41 b (16,93)	5,89 a (32,09)	15,72 b (13,49)	72,50 a (18,40)
6 (DB)	11,73 b (34,02)	33,56 b (26,28)	3,09 c (34,95)	11,66 b (26,59)	73,26 a (15,36)
7 (BDG)	14,97 b (19,57)	49,36 b (18,35)	7,21 a (28,57)	25,92 a (20,29)	52,70 b (26,87)
Média	14,72	39,14	5,23	17,10	60,99

Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de média de Scott-Knott a 5% de significância.

Já Nakamura e Sobral Filho (1982), não verificaram influência significativa do aumento da massa específica sob o inchamento em espessura de painéis aglomerados. Desta forma, pode-se dizer que inúmeros outros aspectos podem influenciar a absorção de água, como espécie, razão de compactação, liberação de tensões geradas na prensagem, quantidade e qualidade de aditivos (adesivo e parafina), dentre outros, não sendo a densidade, isoladamente, um parâmetro adequado para predição da estabilidade dimensional de painéis.

Iwakiri et al. (2000b) encontraram para painéis de madeira aglomerada de eucalipto e mistura das espécies, valores de absorção em água variando de 13,94 a 27,95% para 2 horas e 37,37 a 50,06% para 24 horas. Já para painéis produzidos com *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*, Iwakiri et al. (1996) encontraram valores médios de absorção de água variando de 42,09 a 71,75% para 2 h e 73,12 a 80,05% para 24 h. Notadamente, os resultados encontrados no presente estudo para absorção de água são melhores que os estudos referenciados, porém é importante destacar que no primeiro estudo não houve a aplicação de emulsão de parafina e no segundo a quantidade de resina foi de 8%.

Em relação ao inchamento em espessura, pode-se observar que os valores médios encontrados para 2 e 24 h de imersão em água, variaram respectivamente de 3,09 a 7,21% e de 11,66 a 25,92%. Desta forma, todos os tratamentos atenderam os parâmetros da ABNT (2006) que estabelece inchamento em espessura máximo de 8% para duas horas e da ANSI (2009), que estabelece inchamento máximo de 40% para um período de 24 horas.

Iwakiri et al. (2004), comparando 6 espécies de *Eucalyptus* (*grandis*, *dunnii*, *tereticornis*, *saligna*, *citriodora* e *maculata*) e *Pinus taeda*, teve resultados superiores, com médias de 23,5% para 2h e de 42% para 24h. Se comparado com estudo feito por Iwakiri et al., (2000a), os valores médios de inchamento de três espécies de eucalipto, *E. saligna*, *Corymbia citriodora* e *E. pilularis*, variaram de 9,95 a 32,24% e de 23,07 a 45,35%, respectivamente para 2 e 24 horas, sendo superior aos encontrados no presente estudo.

Quanto a estabilidade dos painéis, observa-se que o tratamento 6 (50% de *E. dunnii* e 50% de *E. grandis*) foi o que apresentou o melhor desempenho absoluto, com inchamento em 2 e 24 horas de 3,09% e 11,66%, respectivamente.

No entanto, foi estatisticamente semelhante ao tratamento 1. Kelly (1977) afirma que painéis mais densificados apresentam geralmente uma maior instabilidade dimensional. Entretanto, Suchsland (1973) cita que a relação entre a estabilidade dimensional e a massa específica não está bem definida.

Entre os resultados encontrados para a absorção superficial de tolueno (Tabela 3), observa-se que os tratamentos que apresentam as maiores distâncias médias são os tratamentos compostos por 100% de partículas de *E. grandis*, *E. grandis* com *E. benthamii* e *E. dunnii* com *E. benthamii*, sendo tratamentos 3, 5 e 6 respectivamente. Este fato é devido a melhor densificação e razão de compactação encontrada nos tratamentos supracitados.

É importante salientar também que quanto maior for a distância percorrida pelo líquido menor é a absorção superficial. Sá et al. (2010), encontraram para painéis compensados de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. colados com uréia formaldeído com gramatura de 320 g/m<sup>2</sup>, 34,6 mm de distância percorrida. Em estudos realizados por Soratto et al. (2013), onde foram avaliados os efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP com 0,65 g/cm<sup>3</sup> de densidade, produzidos com *Eucalyptus* sp. e 10% de adesivo no miolo e 6% para a superfície, a distância percorrida foi de 58,3 mm e diminuindo a distância e/ou aumentando a absorção à medida que aumentava a proporção de partículas com casca no painel.

Os valores encontrados no presente estudo e nos outros dois relacionados são consideravelmente inferiores aos de Akbulut e Ayrimis (2006), que avaliaram diferentes qualidades de superfície de MDF de *Pinus nigra* Arnold var. *pallasiana*, obtendo uma distância percorrida pela gota de tolueno de 255,778 e 317,95 mm para painéis com maior e menor teor de madeira de compressão.

Relacionando os estudos, pode-se dizer que quanto melhor a densificação e a qualidade da superfície dos painéis, menor é a absorção do tolueno, o que não foi obtido para o presente estudo, tendo em vista que foram produzidos painéis homogêneos, sem a preocupação com a qualidade do acabamento de superfície. A melhoria da propriedade poderia ser realizada com a produção de painéis multicamadas, utilizando-se partículas de menor granulometria na superfície e/ou ainda com a passagem dos painéis pelo lixamento na operação de acabamento.

Salienta-se que esta propriedade é importante para o uso interior de painéis, os quais tem frequentemente a incorporação de produtos de revestimento ou pintura, antes do seu uso final, demandando boa qualidade de superfície no que tange a lisura.

### Propriedades mecânicas

Os valores encontrados para MOR (Tabela 4) variaram de 11,66 a 15,42 MPa, sendo os tratamentos compostos pelo *E. grandis* puro, *E. grandis* e *E. benthamii*, *E. dunnii* e *E. benthamii* e mix das 3 espécies os que se destacaram.

Iwakiri et al. (2000b) encontrou valores de MOR para *E. maculata*, *E. grandis*, *E. terenticornis* e mix entre as espécies de 163,36 kgf/cm<sup>2</sup>, 152,95 kgf/cm<sup>2</sup>, 105,57 kgf/cm<sup>2</sup> e 158,54 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Já para *E. dunnii*, Iwakiri et al. (1995), encontrou 169,41 kgf/cm<sup>2</sup>. Em trabalho publicado por Melo e Del Menezzi (2010) para painéis de *Eucalyptus grandis*, os valores de MOR variaram de 14,62 a 18,53 MPa. Assim, pode-se dizer que os valores para MOR do presente estudo encontram-se um pouco abaixo dos trabalhos relacionados, não atendendo também a ABNT (2006) que estabelece 16 MPa como limite inferior. No entanto, os tratamentos 3, 5 e 6 compostos pelo *E. grandis* puro, mix de *E. grandis* e *E. benthamii* e mix de *E. dunnii* e *E. benthamii*, respectivamente, atenderam a norma ANSI (2009) que fixa 13 MPa como referencial mínimo para painéis de média densidade colados com adesivo uréia formaldeído.

Para módulo de elasticidade, foi encontrada a mesma tendência do módulo de ruptura, ou seja, os painéis dos tratamentos 3, 5 e 6 com os maiores valores, exceção feita ao tratamento 7, que foi destaque para MOR, porém não apresentou equivalência de valores para MOE. No entanto, somente os tratamentos compostos pelo mix entre *E. grandis* e *E. benthamii* com 2213,47 MPa de rigidez e o composto por *E. grandis* puro com 2049,03 MPa, os únicos a atender o parâmetro mínimo de 2000 MPa estabelecido pela norma ANSI (2009). Já a ABNT (2006) não estabelece valores de referência para MOE.

Moslemi (1974) cita que painéis produzidos com espécies de baixa massa específica geralmente apresentam maior resistência à flexão e melhor módulo de elasticidade, quando comparados com painéis obtidos de espécies de alta massa específica, em função de proporcionar uma maior razão de compactação.

Iwakiri et al. (2000b) encontraram 19.960,12 kgf/cm<sup>2</sup> para *E. maculata*, 23.055,65 kgf/cm<sup>2</sup> para *E. grandis*, 12.178 kgf/cm<sup>2</sup> para *E. terenticornis* e 18.716 kgf/cm<sup>2</sup> para o mix das espécies. Melo e Del Menezzi (2010), obtiveram valores de MOE para *E. grandis* variando de 1.398 a 1.922 MPa, respectivamente. Em relação à espécie tradicionalmente utilizada para a produção de painéis de madeira aglomerada na região sul do Brasil, *Pinus taeda*, que serve como referência para diversos estudos, verifica-se que todos os tratamentos apresentaram valores de MOR e MOE superiores, tomando como referência o estudo de Trianoski (2010) que encontrou 11,17 MPa para MOR e 1581,11MPa para MOE.

**Tabela 4.** Valores médios para absorção e inchamento em espessura.

**Table 4.** Mean values for absorption and thickness swelling.

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Tração perpendicular (MPa)	Arrancamento de parafuso (N)	
				Topo	Superfície
1 (B)	12.30 b (14,88)	1740.67 b (17,85)	0.84 b (15,48)	1138.31 b (32,83)	1042.18 b (29,59)
2 (D)	11.66 b (12,52)	1756.85 b (14,49)	0.80 b (10,00)	1108.37 b (16,35)	1146.62 b (16,67)
3 (G)	13.94 a (17,22)	2049.03 a (14,80)	1.18 a (18,64)	1472.68 a (11,92)	1351.50 a (17,35)
4 (GD)	12.28 b (10,34)	1779.81 b (12,30)	0.71 b (19,72)	915.93 c (27,41)	1100.25 b (25,92)
5 (GB)	15.42 a (10,57)	2213.07 a (14,24)	1.06 a (18,87)	1093.81 b (17,73)	1109.25 b (27,30)
6 (DB)	14.05 a (11,39)	1990.41 a (9,28)	0.99 a (16,16)	998.93 c (9,38)	1076.75 b (19,63)
7 (BDG)	12,90 a (20,78)	1746,98 b (11,51)	0,90 a (15,56)	1163,93 b (21,17)	1321,06 a (19,11)
Média	12,90	1896,69	0,90	1163,93	1321,06

Valores entre parênteses indicam o coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna não diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de média Scott-Knott a 5% de significância.

Nos resultados de tração perpendicular (ligação interna), observa-se que os valores variaram entre 0,71 e 1,18 MPa, atendendo os parâmetros da norma ABNT (2006) e da norma ANSI (2009), que estabelecem 0,40 MPa e 0,20 MPa como limites mínimos, respectivamente. Salienta-se que o menor valor encontrado nos ensaios é quase 2 vezes maior que o limite estabelecido pela norma brasileira e 3,5 vezes maior que o limite da norma americana.

Vital; Lehmann e Boone (1974) citam que a propriedade de ligação interna aumenta consideravelmente com o aumento da massa específica dos painéis, bem como as demais propriedades mecânicas, como já mencionado anteriormente, na análise do módulo de ruptura e elasticidade, os quais apresentaram os mesmos tratamentos como destaque. Esta afirmação também é compartilhada por Albuquerque (2002), que em sua pesquisa verificou o aumento significativo das propriedades de ligação interna, do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura em flexão estática, com aumento na massa específica do painel de 0,70 para 0,90 g/cm<sup>3</sup>.

Os valores encontrados correspondem aos obtidos em outros estudos como o de Iwakiri et al. (1995) que encontraram 0,81 MPa para painéis com *E. dunnii* e 1,08 MPa para painéis produzidos com *Pinus elliottii*, e o de Iwakiri et al. (2000b) que para painéis a partir de resíduos de serrarias de três espécies de *Eucalyptus* (*E. maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*) encontraram valores entre 0,75 e 1,34 MPa. Pode-se citar também, que são maiores aos obtidos por Melo e Del Menezzi (2010) para painéis de *Eucalyptus grandis*, tendo em vista que os autores encontraram valores entre 0,28 e 0,35 MPa.

Para resistência ao arrancamento de parafuso superficial e de topo, o tratamento que se destacou foi novamente o 3, o qual é composto por 100% de partículas de *E. grandis* com 1351,50 N e 1472,68 N para os dois sentidos de aplicação, respectivamente. Contudo, a média entre os tratamentos foi de 1321,06 N para a aplicação superficial e 1163,93 N para a de topo, o que faz com que todos os tratamentos estejam de acordo com os parâmetros da ABNT (2006) que estabelece limites mínimos de 1020 N para arrancamento de superfície e 800 N para topo e da ANSI (2009), que fixa 900 N para superfície e 800 N para topo, independente do sentido de aplicação. De acordo com a análise estatística, o tratamento que apresentou o menor resultado de arrancamento de topo foi o composto pelo

mix do *E. grandis* e *E. dunnii* (tratamento 4), não diferenciando no mix do *E. dunnii* e *E. benthamii* (tratamento 6). Já para o arrancamento de superfície, o resultado menos expressivo foi o composto por 100% de partículas de *E. benthamii*, o qual não diferenciou dos tratamentos 4, 5 e 6.

Atribui-se o melhor desempenho do painel composto por 100% de partículas de *E. grandis* à propriedade de arrancamento de parafuso, à menor massa específica das partículas e maior razão de compactação, o que é corroborado por Trianoski (2010), que afirma que uma maior razão de compactação tende a reduzir os espaços vazios no painel e promover um maior contato entre as partículas, gerando assim maior resistência mecânica. Dacosta et al. (2005), avaliando a qualidade de painéis de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii*, observaram que o aumento da densidade dos painéis conferiu maior resistência para o teste de arrancamento de parafusos.

Weber (2011) cita que normalmente a superfície tende a apresentar os maiores resultados de resistência, principalmente devido ao gradiente de densidade formado durante a prensagem. O fato do parafuso de topo estar fixado no centro do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação também favorece os resultados superiores na superfície. No entanto, esta relação não foi evidenciada em todos os tratamentos, sendo justificada pela desuniformidade na deposição das partículas durante a formação manual do colchão.

Outros estudos apresentam resistências médias ao arrancamento de parafuso inferiores, como o publicado por Melo e Del Menezzi (2010) para painéis de *E. grandis*, produzidos com densidade de 0,6, 0,7 e 0,8 g/cm<sup>3</sup>, que encontraram valores no intervalo de 710 a 966 N.

## CONCLUSÕES

Os painéis produzidos com as 2 espécies florestais alternativas, *E. dunnii* e *E. benthamii*, tanto na forma pura, como no mix entre as espécies apresentam potencial de utilização para o segmento, quando comparadas com o *E. grandis* e com outros estudos encontrados na literatura.

Todos os tratamentos atenderam os parâmetros mínimos estabelecidos pela ABNT (2006) e ANSI (2009) no que tange a propriedade física de inchamento em espessura e as propriedades mecânicas de tração perpendicular e arrancamento de parafuso.

No ensaio de flexão estática, nenhum tratamento atendeu o parâmetro mínimo da NBR 14810 (ABNT, 2006) para módulo de ruptura e somente os tratamentos compostos por *E. grandis* puro e associação de *E. grandis* e *E. benthamii* atenderam os parâmetros da ANSI (2009) para variável supracitada e para módulo de elasticidade.

Para que os tratamentos atendam as normas de qualidade, faz-se necessário ajustes no preparo da matéria-prima, principalmente na granulometria das partículas e no processo de prensagem do painel.

## AGRADECIMENTOS

As empresas Klabin S.A., Madepar Indústria e Comércio de Madeiras LTDA e Indústria de Compensados Sudati LTDA. Ao SENAI – Unidade Lages.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: Chapas de madeira aglomerada. 2006. 51 p.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTA PLANTADA. Anuário Estatístico da ABRAF 2012 – Ano Base 2012. Brasília, 2013, 142 p.

AGUIAR, O. J. R. Métodos para controle das rachaduras de topo para toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden visando a produção de lâminas para desenrolamento. 1986. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) - Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1986.

AKBULUT, T.; AYRILMIS, N. Effect of compression wood on surface roughness and surface absorption of médium density fiberboard. *Silva Fennica*, Helsinki, v. 40, n. 1, p. 161-167, 2006.

ALBUQUERQUE, C. E. C. Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados. 2002. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ANSI - AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. Mat-formed wood particleboard: specification ANSI A 208.1. Leesburg: Composite Panel Association, 2009. 13 p.9

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; FREDERICO, G. U.; CARVALHO, A. M. M. L.; VIDAURRE, G. B. Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formaldeído. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009.

DACOSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

HASELEIN, C. R. Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden) e embaúva (*Cecropia* sp.). 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.

HIGA, R. V. C. Aspectos ecológicos e silviculturais do *Eucalyptus benthamii*. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 38, p. 121-123, 1999.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia -negra. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251-256, 2000a.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAK, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000b.

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P.; SEVERO, E. T. D.; RINCOSKI, C. R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N. S. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais "waferboard". *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v. 14, n. 1-2, p. 107-114, 1995.



- IWAKIRI, S.; LATORRACA, J. V. F.; SILVA, D. A.; GABARDO, J. L.; KLITZKE, R. J.; FOFANO JUNIOR, A.; FABROWSKI, F.; INTERAMENSE, M. T. Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* (Engelm) e *Eucalyptus dunnii* (Maid). **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 33-41, 1996.
- 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, 2004.
- KELLY, M. W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. USDA Forest Service FPL General Technical Report, Madison, n. 10, 1977. p.1-66.
- LIMA, E. A.; SILVA, H. D.; LAVORANTI, O. J.; Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 65, p.9-17, 2011.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681 p.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.
- MENDES, L. M. ***Pinus spp* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 156 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- MENDES, R. F.; BALEEIRO, N. S.; MENDES, L. M.; SCATOLINO, M. V.; OLIVEIRA, S. L.; PROTÁSIO, T. P. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 417-423, 2010.
- MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245 p.
- NAKAMURA, R. M.; SOBRAL FILHO, M. **Aglomerado de misturas de espécies tropicais da Amazônia**. Brasília: IBDF, 1982, 7 p.
- NAUMANN, R. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; LÚCIA, R. M. D.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. L.; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.
- SÁ, V. A.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; BUFALINO, L.; COUTO, A. M.; MENDES, L. M.; SANTOS, R. C. Absorção de superfície de painéis compensados. **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 53-57, 2010.
- SORATTO, D. N.; CUNHA, A. B.; VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; COSTA, F. R. Efeitos da adição de cavaco com casca na qualidade de painéis MDP produzidos com *Eucalyptus* sp. **Revista Ciência da Madeira**. Pelotas, v. 4, n. 1, p. 46-59, 2013.
- SUCHSLAND, O. Hygroscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 23, n. 7, p. 26-30, 1973.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. N2010. 262 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.
- WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 28, n. 2, p. 227-239, 1999.

Recebido em 06/11/2013

Aceito para publicação em 18/03/2014

