

RESISTÊNCIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM MISTURA DE MADEIRA DE ESPÉCIES FLORESTAIS TRADICIONAIS E NÃO TRADICIONAIS

STRENGTH OF PARTICLEBOARD PRODUCED WITH MIXED WOOD TRADITIONAL AND NONTRADITIONAL FOREST SPECIES

Felipe Luis Sanches¹ Éverton Hillig² Setsuo Iwakiri³ Lygia Maria Napoli⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de painéis aglomerados fabricados com partículas de madeira de *Pinus taeda* (pinus), *Eucalyptus saligna* (eucalipto), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) em diferentes proporções de misturas e em duas composições de camadas. Os painéis foram produzidos em misturas de duas, de três e das quatro espécies para painéis monocamada, e nas proporções de duas espécies para painéis multicamadas. Foram também produzidos painéis com madeira de pinus pura. O adesivo usado foi à base de ureia-formaldeído e a massa específica nominal estabelecida foi de 0,65 g/cm³. Foram avaliadas as propriedades físico-mecânicas de massa específica, teor de umidade, flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos. As análises permitiram avaliar o efeito da utilização da madeira das diferentes espécies em misturas na fabricação dos painéis aglomerados. Os resultados foram também comparados aos requisitos das normas ANSI A 208.1. Verificaram-se aumentos nos valores das propriedades de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos com o aumento da proporção de pinus e uva-do-japão e diminuição com aumento da proporção de bracatinga e eucalipto. Portanto, pode-se concluir que as espécies que mais se destacaram foram o pinus e a uva-do-japão. Em relação à composição, os painéis multicamadas, em sua maioria, apresentaram-se superiores aos painéis monocamada.

Palavras-chave: *Hovenia dulcis*; *Mimosa scabrella*; propriedades mecânicas.

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate the strength of particleboards made with wood of *Pinus taeda*, *Eucalyptus saligna*, *Mimosa scabrella* and *Hovenia dulcis* and mixtures in different proportions and two board compositions. The boards were produced in mixtures of two, three and four species for monolayer boards and proportions of the two species for multilayer boards. Panels were also produced with pure pine wood. The adhesive used was based on urea-formaldehyde and the nominal density was 0.65 g/cm³. We evaluated the properties of density, moisture content, static bending, internal bond and screw withdrawal. The analyzes allowed to evaluating the use of different species wood mixtures in particleboards. The results were also compared the requirements of applicable ANSI A 208.1. The values of static bending, internal bond and screw withdrawal increased with increasing proportion of *Pinus taeda* and *Hovenia dulcis* and decreased with increasing proportion of *Mimosa scabrella* and *Eucalyptus saligna*. Therefore, it can be concluded that better species were the *Pinus taeda* and *Hovenia dulcis*. Regarding the composition,

1 Engenheiro Florestal, MSc., Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, BR 153, Km 07, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. engenhariaflorestal.felipe@gmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Centro-Oeste, BR 153, Km 07, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. hillig@hotmail.com

3 Engenheiro Florestal, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Av. Lothário Meissner, 632, CEP 80210-170, Curitiba (PR), Brasil. setsuo@ufpr.br

4 Engenheiro Florestal, Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, BR 153, Km 07, Bairro Riozinho, CEP 84500-000, Irati (PR), Brasil. ly_napoli@hotmail.com

multilayer boards, mostly showed themselves superior to monolayer boards.

Keywords: *Hovenia dulcis*; *Mimosa scabrella*; mechanical-properties.

INTRODUÇÃO

Segundo Maloney (1993), na produção de painéis aglomerados, a massa específica é o fator mais limitante e a indústria, normalmente, utiliza madeiras com massa específica inferiores a $0,60 \text{ g/cm}^3$. Hrázsky e Král (2003) afirmam que os painéis devem ter massa específica de 5 a 40% superior à massa específica da madeira empregada na sua fabricação.

Madeiras com massa específica superiores a $0,60 \text{ g/cm}^3$ normalmente não são utilizadas para a fabricação, porque fornecem painéis com peso superior aos normalmente aceitos pelo mercado (CABRAL et al., 2007). Maloney (1993) também afirma que as madeiras com massa específica de até $0,55 \text{ g/cm}^3$ são as mais recomendadas para a produção de painéis aglomerados. No entanto, as espécies de maior massa específica podem ser misturadas com aquelas, de forma a viabilizar o seu aproveitamento.

Hillig (2000) afirma que a mistura de madeira de diferentes espécies traz vantagens na qualidade dos painéis quando levadas em consideração todas as propriedades físicas e mecânicas desejadas. Vital (1973) analisou o efeito da espécie e da massa específica em painéis aglomerados produzidos com quatro espécies de madeira, puras ou misturadas entre si. Haselein, Vital e Dellalucia (1989), na análise de parâmetros para a fabricação de painéis aglomerados, também utilizaram a técnica da mistura de espécies no processo de produção, associando eucalipto e embaúba. Na avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* (paricá) e *Cecropia hololeuca* (embaúba), Iwakiri et al. (2010) verificaram que essas espécies são tecnicamente viáveis para produção de painéis aglomerados. Estes trabalhos mostram que a mistura de espécies, em geral, tende a produzir painéis com melhores propriedades físicas e mecânicas que a utilização de cada espécie individualmente, pois as misturas influenciam de alguma forma nas propriedades dos painéis.

Existem poucos estudos relacionados aos plantios de espécies como *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*. A primeira é muito utilizada na produção de energia, em forma de lenha ou carvão, a

segunda, é de fácil propagação. As duas espécies são consideradas por diversos autores como de rápido crescimento, por isso, são empregadas também na recuperação de áreas em estágio avançado de degradação.

A *Hovenia dulcis*, mais conhecida como uva-do-japão, pertencente à família Rhamnaceae, ocorre naturalmente na China, Japão e Coreia. Fora da área de ocorrência, foi introduzida nas regiões do sudeste da Ásia, no norte da Argentina e no Paraguai. No sul do Brasil, ela é largamente difundida pelo cultivo em pequenos talhões ou de forma isolada (CARVALHO, 1994). Segundo o autor, além de frutífera, apresenta ótimas perspectivas como madeira, possuindo características físico-mecânicas aceitáveis para diversas finalidades.

A espécie *Mimosa scabrella* (bracatinga), com ampla dispersão, está vastamente distribuída pelas submatas dos pinhais e capoeirões do planalto leste do Rio Grande do Sul (REITZ; KLIEN; REIS, 1998). Mainieri e Chimelo (1989) afirmam que a bracatinga predomina nas submatas dos pinhais, em todo planalto dos estados do Paraná e Santa Catarina. Segundo os autores, em regiões onde ocorreu a devastação dos pinhais, a sua ocorrência é intensa, formando matas de bracatinga ou bracatingais.

Segundo Carvalho (2003), dentre as diversas utilizações da bracatinga, a madeira desta espécie pode ser usada principalmente em vigamentos, escoras de construção civil, partes não aparentes de móveis, caixotaria, embalagens leves, compensados, laminados e aglomerados.

Tanto a bracatinga como a uva-do-japão podem ser utilizadas na produção de painéis aglomerados. Com massa específica que varia entre $0,58 \text{ g/cm}^3$ a $0,67 \text{ g/cm}^3$, o emprego de ambas na mistura com espécies de menor massa específica é desejável (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

As características dos painéis aglomerados produzidos a partir de madeira de espécies misturadas são comparáveis com aqueles produzidos com uma espécie e são dependentes primariamente da massa específica média da mistura (VITAL; LEHMANN; BOONE, 1974). Ainda, segundo os autores, é possível misturar madeiras de diferentes massas específicas para produzir painéis com propriedades aceitáveis.

Misturando *Pinus elliottii*, *Eucalyptus*

grandis e *Acacia mearnsii* para confecção de painéis aglomerados estruturais, Hillig, Haselein e Iwakiri (2003) concluíram que a massa específica básica foi a propriedade que mais influenciou o MOR e o MOE positivamente.

Hiziroglu et al. (2005) confeccionaram painéis de partículas aglomeradas de bambu (*Dendrocalamus asper*) misturadas com diferentes proporções de *Eucalyptus camaldulensis* e palha de arroz e verificaram que a inclusão de porcentagens de bambu nos painéis melhorou as propriedades mecânicas de MOR, MOE e ligação interna.

Além dos fatores relacionados às características da madeira de cada espécie e sua massa específica, a produção de painéis aglomerados depende de vários fatores que estão relacionados entre si, com maior e menor importância, que de forma direta ou indireta, influenciam em suas propriedades físicas e mecânicas. As variáveis de processo como a geometria de partículas, teor de umidade, tipo e quantidade de resina e ciclo de prensagem, devem ser consideradas dentro dos critérios e padrões recomendados industrialmente (IWAKIRI et al., 2001).

As variações em espécies ou tipos de madeira utilizada na fabricação de painéis de partículas aglomeradas produzem diferentes efeitos na qualidade do produto final. Segundo Carlyle, McGee e Mclean (1956), massa específica, compressibilidade, colagem, dureza, pH, extrativos e tipos de fibras são parâmetros que variam de acordo com cada espécie, podendo afetar a qualidade dos painéis.

É fato de que no Brasil são utilizadas, de preferência, madeiras provenientes de reflorestamentos, obtendo então, o conhecimento dos efeitos das características de cada espécie sobre os painéis produzidos. Com isso, pode-se ajustar a utilização de diferentes espécies para a fabricação de aglomerados objetivando qualidade equivalente a um painel produzido com uma espécie.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a qualidade de painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna* em associação com madeiras de *Mimosa scabrella* e *Hovenia dulcis*, utilizadas em diferentes proporções de misturas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-prima

Para a produção dos painéis foram coletadas aleatoriamente oito árvores, sendo duas de cada espécie, na região de Irati - PR. As árvores de eucalipto foram retiradas de uma área experimental plantada em espaçamento 3 x 2, dominadas, e tinham 22 anos à época do corte. As árvores de bracatinga, uva-do-japão e pinus foram obtidas em áreas naturais de ocorrência, sendo sua idade estimada em aproximadamente 12 anos. Foram também usadas partículas de pinus cedidas por uma indústria de painéis aglomerados.

A região de coleta das árvores utilizadas se situa no paralelo 25°27'56" de latitude Sul com intersecção com o meridiano 50°37'51" de longitude Oeste. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb (temperado), com verões amenos, invernos com ocorrências de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca. As médias mensais de precipitação pluviométrica e da umidade relativa do ar são 193,97 mm e 79,58%, respectivamente. A altitude média é de 820 metros.

Determinação da massa específica básica da madeira

A determinação da massa específica básica da madeira foi realizada pelo método da balança hidrostática, utilizando discos com cinco cm de espessura, retirados a 0,10 m; 1,30 m (DAP); 2,50 m, 3,70 m e 4,90 m da altura do tronco. De cada disco, foram retirados dois corpos de prova em forma de cunha, opostos entre si, formando um ângulo de cunha de 30°. Para determinar a massa específica básica média da árvore foi utilizado o volume entre discos como fator de ponderação.

Formação das partículas

As árvores retiradas foram transformadas em toras de 1,20 metros, originando quatro toras por árvore. Com o comprimento já estabelecido, as toras foram desdobradas, utilizando uma serra de fita, em tábuas com espessura média de 2,70 cm, as quais permaneceram em um tanque com água para melhor conservação.

Após secagem, as tábuas foram submetidas à plaina para a geração de maravalhas. Para geração das partículas utilizou-se um moinho de martelo, que possibilitou obter partículas homogêneas. Após esta etapa, as partículas passaram por peneira (classificador automático), de granulometria correspondente a 12 *mesh* ou 1,42 mm de abertura.

As partículas que passaram pela peneira de 12 *mesh* foram classificadas como finas, originando partículas menores que foram utilizadas nas superfícies dos painéis multicamadas e as partículas que ficaram retidas (grossas), foram utilizadas na confecção dos painéis monocamada e no miolo dos painéis multicamadas.

Depois de produzidas, as partículas foram submetidas à estufa com ventilação forçada, a 80°C, até atingirem teores de umidade próximos a 3%. Além das partículas obtidas em laboratório, foram também utilizadas partículas de madeira de *Pinus taeda* com massa específica básica média de 0,40 g/cm³, cedidas por uma indústria de painéis aglomerados. A utilização dessas partículas visou obter painéis em dois tratamentos- testemunhas, um para painéis monocamada e um para painéis multicamada.

Delineamento experimental

As partículas foram utilizadas na confecção dos painéis misturadas em diferentes proporções para os painéis monocamada e multicamada, sendo os painéis monocamadas também foram produzidos com 100% de partículas de *Pinus taeda*. Foram também produzidos como testemunha, painéis de ambas as composições com 100% de partículas de *Pinus taeda* geradas na indústria.

O experimento consistiu em 16 tratamentos

e três repetições, totalizando 48 painéis. As análises foram realizadas em função da proporção das diferentes espécies usadas na manufatura dos painéis e da sua composição, conforme mostra a Tabela 1.

Manufatura dos painéis

Após a pesagem e a separação das partículas por painel e tratamento, foram adicionadas a resina e a emulsão de parafina por meio de aspersão em encoladeira rotativa. Para a formação do colchão, as partículas foram colocadas em uma caixa formadora com dimensões de 50 x 50 cm e distribuídas uniformemente de forma manual.

Em seguida, as partículas passaram pela pré-prensagem para sua compactação e, por fim, o colchão foi conduzido à prensa de pratos com aquecimento elétrico juntamente com barras limitadoras de 12 mm de espessura.

Utilizou-se resina ureia-formaldeído (UF) na proporção de 10% sobre o peso seco das partículas para os painéis monocamada e, na mesma proporção, no miolo dos painéis multicamadas. Para a camada externa dos painéis multicamadas usou-se 15% de resina em relação ao peso seco das partículas. A quantidade de catalisador, sulfato de amônia – (NH₄)₂SO₄, foi de 2% sobre a quantidade de resina na forma sólida.

Para a confecção dos painéis acrescentou-

TABELA 1: Delineamento experimental.

TABLE 1: Experimental design.

| Tratamento | Proporção de cada espécie ¹ (%) | | | | Composição | Proporção de partículas ¹ (%) | N. de painéis |
|-----------------|--|-----------|------------|--------------|-------------|--|---------------|
| | Pinus | Eucalipto | Bracatinga | Uva-do-japão | | | |
| 1 | 50 | - | 50 | - | Monocamada | 100 | 3 |
| 2 | 50 | - | - | 50 | Monocamada | 100 | 3 |
| 3 | - | 50 | 50 | - | Monocamada | 100 | 3 |
| 4 | - | 50 | - | 50 | Monocamada | 100 | 3 |
| 5 | 25 | 25 | 50 | - | Monocamada | 100 | 3 |
| 6 | 25 | 25 | - | 50 | Monocamada | 100 | 3 |
| 7 | - | 50 | 25 | 25 | Monocamada | 100 | 3 |
| 8 | 50 | - | 25 | 25 | Monocamada | 100 | 3 |
| 9 | 25 | 25 | 25 | 25 | Monocamada | 100 | 3 |
| 10 | 100 | - | - | - | Monocamada | 100 | 3 |
| 11 ² | 100 | - | - | - | Monocamada | 100 | 3 |
| 12 | 50 | - | 50 | - | Multicamada | 20-60-20 | 3 |
| 13 | 50 | - | - | 50 | Multicamada | 20-60-20 | 3 |
| 14 | - | 50 | 50 | - | Multicamada | 20-60-20 | 3 |
| 15 | - | 50 | - | 50 | Multicamada | 20-60-20 | 3 |
| 16 ² | 100 | - | - | - | Multicamada | 20-60-20 | 3 |
| | | | | | | TOTAL | 48 |

Em que: ¹ Proporção com base no peso seco de partículas; ² Partículas geradas na indústria.

se também 1% de parafina na mistura de partículas (tambor misturador) com base no peso seco de partículas. A massa específica nominal calculada para os dois tipos de painéis foi de $0,65 \text{ g/cm}^3$. Os parâmetros de prensagem foram iguais para todos os tratamentos, com temperatura de 160°C , pressão de prensagem de 40 kgf/cm^2 e tempo de prensagem de 8 minutos.

Confeção dos corpos de prova

Seguindo as recomendações da norma ASTM D 1037-06 (ASTM, 2006), os painéis confeccionados foram levados à câmara de climatização sob condições ambientais controladas ($20\pm 3^\circ\text{C}$ a $65\pm 5\%$) com a finalidade de obter o teor de umidade adequado (umidade de equilíbrio).

Após a climatização e antes da confecção dos corpos de prova, os painéis foram esquadrejados, sendo eliminados três cm de cada lado. Em seguida foram cortados os corpos de prova, com as dimensões de acordo com os ensaios aplicados.

Confeccionados os corpos de prova, estes foram levados novamente à câmara climatizada na

qual permanecerem por um período aproximado de 30 dias para a manutenção da umidade de equilíbrio nas condições determinadas. Os corpos de prova destinados aos ensaios de ligação interna passaram por lixamento com a finalidade de tornar as superfícies lisas. Este procedimento facilitou o contato do metal com as duas faces dos corpos de prova, resultando em uma melhor colagem durante o ensaio.

A Figura 1 apresenta aspectos dos corpos de prova usados nos ensaios mecânicos.

Ensaio físicos e mecânicos

Para avaliar a resistência dos painéis produzidos, realizou-se a determinação da massa específica, do teor de umidade e os ensaios mecânicos de flexão estática, ligação interna e arrancamento de parafusos. Todos os ensaios seguiram as recomendações da ASTM D 1037 – 06 (ASTM, 2006). A massa específica dos painéis foi calculada pela razão entre a massa seca e o volume ao teor de umidade de equilíbrio (TUe), sendo denominada de massa específica básica ao TUe.



FIGURA 1: Corpos de prova usados nos ensaios mecânicos. A: Corpos de prova do ensaio de flexão estática; B: Ensaio de ligação interna em execução; C: Corpo de prova de ligação interna após o ensaio; D: Corpos de prova dos ensaios de arrancamento de parafuso.

FIGURE 1: Specimens used in mechanical tests. A: Specimens of static bending; B: Internal bonding running; C: Internal bond specimen after the test; D: Specimens of screw withdrawal test.

Os ensaios mecânicos foram realizados na máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL 30000, eletromecânica, capacidade 300 kN.

Análise das propriedades

A análise das propriedades dos painéis ocorreu em três partes: análise das médias por tratamento para as propriedades físicas, com análise de variância (ANOVA) da massa específica; Análise das médias por tratamento para as propriedades mecânicas; e ANOVA fatorial para as propriedades mecânicas, considerando os fatores composição do painel (fator 1) e mistura de espécies (fator 2).

Primeiramente foi testada a homogeneidade das variâncias por meio do teste de Bartlett. Após a comprovação de existência de homogeneidade das variâncias, foi aplicada ANOVA por tratamento para a massa específica.

Com o propósito de analisar a influência dos fatores composição (fator 1) e mistura de espécies (fator 2) nas propriedades dos painéis, realizou-se uma ANOVA fatorial entre oito tratamentos (T1 a T4 e T12 a T15).

Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância, o pacote estatístico utilizado para a análise foi o ASSISTAT versão 7.6 beta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa específica básica da madeira

Os valores médios da massa específica básica da madeira de cada espécie, calculados pela média aritmética (Me_{ma}) e pela média ponderada em função do volume da tora (Me_{mp}) são apresentados Tabela 2.

Verifica-se que a média de massa específica do pinus está dentro da faixa citada por Maloney (1993), que recomenda até 0,55 g/cm³ para a produção de painéis aglomerados. Para o

eucalipto, foi encontrado um valor pouco acima da faixa recomendada pelo autor, mostrando que a madeira dessa espécie poderia ser proveniente de árvores mais jovens. As médias encontradas para bracatinga e uva-do-japão também estão acima da faixa recomendada, confirmando a necessidade de mistura dessas espécies com outras de menor massa específica.

Propriedades físicas dos painéis

Os valores médios referentes à massa específica dos painéis encontram-se na Tabela 3, juntamente com o teor de umidade de equilíbrio.

Nota-se que não foi constatada diferença significativa para a massa específica básica ao TUE observada, tanto nos painéis monocamada como nos painéis multicamadas, não sendo necessária a realização de análise de covariância.

A norma para painéis da ANSI A 208.1 (1993) cita que a massa específica final dos painéis não pode apresentar diferença maior que 10% da massa específica nominal especificada para a manufatura dos painéis. Nesse trabalho, os valores médios encontrados atendem às exigências desta norma.

De maneira geral, observa-se que para a massa específica dos painéis, os valores encontrados foram relativamente próximos aos preestabelecidos pela massa específica nominal. Segundo Hillig (2000) e Dacosta et al. (2005), pequenas variações ocorrem no processo manual de manufatura dos painéis em laboratório, principalmente nas fases de montagem do colchão e/ou na adição de resinas e outros aditivos.

O teor de umidade de equilíbrio médio das amostras variou entre 6,23 e 9,68%. Percebe-se que a madeira das diferentes espécies usadas influenciou na umidade de equilíbrio dos painéis. Melo e Del Menezzi (2010) confeccionaram painéis aglomerados de massa específica de 0,6, 0,7 e 0,8 g/cm³, com madeira de *Eucalyptus grandis*

TABELA 2: Valores de massa específica por espécie, com seus respectivos DAPs médios.

TABLE 2: Specific gravity values for species, with their BHDs.

| Espécie | Me_{ma} (g/cm ³) | Me_{mp} (g/cm ³) | DAP médio (cm) |
|--------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| Pinus | 0,35 | 0,36 | 16,40 |
| Eucalipto | 0,56 | 0,58 | 18,25 |
| Bracatinga | 0,59 | 0,60 | 19,10 |
| Uva-do-japão | 0,58 | 0,56 | 15,95 |

TABELA 3: Valores de massa específica básica ao teor de umidade de equilíbrio (TUE) e teor de umidade dos painéis monocamada e multicamada.

TABLE 3: Specific gravity at equilibrium moisture content and moisture content values of monolayer and multilayer panels.

| Trat | Pinus ¹ (%) | Eucalipto ¹ (%) | Bracatinga ¹ (%) | Uva-do-japão ¹ (%) | Composição | Me (g/cm ³) | TUE (%) |
|------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------|---------|
| T1 | 50 | - | 50 | - | Monocamada | 0,64 a | 7,55 |
| T2 | 50 | - | - | 50 | Monocamada | 0,66 a | 6,23 |
| T3 | - | 50 | 50 | - | Monocamada | 0,68 a | 7,57 |
| T4 | - | 50 | - | 50 | Monocamada | 0,65 a | 7,46 |
| T5 | 25 | 25 | 50 | - | Monocamada | 0,63 a | 6,67 |
| T6 | 25 | 25 | - | 50 | Monocamada | 0,63 a | 7,58 |
| T7 | - | 50 | 25 | 25 | Monocamada | 0,67 a | 8,33 |
| T8 | 50 | - | 25 | 25 | Monocamada | 0,66 a | 8,87 |
| T9 | 25 | 25 | 25 | 25 | Monocamada | 0,64 a | 9,68 |
| T10 | 100 | - | - | - | Monocamada | 0,63 a | 8,66 |
| T11 ² | 100 | - | - | - | Monocamada | 0,65 a | 9,14 |
| T12 | 50 | - | 50 | - | Multicamada | 0,63 a | 7,17 |
| T13 | 50 | - | - | 50 | Multicamada | 0,64 a | 7,49 |
| T14 | - | 50 | 50 | - | Multicamada | 0,61 a | 6,55 |
| T15 | - | 50 | - | 50 | Multicamada | 0,63 a | 8,28 |
| T16 ² | 100 | - | - | - | Multicamada | 0,66 a | 8,39 |
| CV (%) | | | | | | 9,13 | 8,67 |

Em que: Nas colunas, os valores seguidos das mesmas letras não apresentam diferenças estatísticas, com nível de significância de 95%; Trat. = Tratamento; ¹ Proporção com base no peso seco de partículas; ² Partículas geradas na indústria; Me = Massa específica básica ao TUE; TUE = Teor de umidade de equilíbrio.

e observaram valores que variaram entre 8,39 e 8,51%.

Cabral et al. (2007) encontraram valores que variaram de 9,62 a 9,94% para painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. Segundo Weber (2011), a variação de teor de umidade pode ser explicada pelo fato do material ter passado por aquecimento na fabricação inicial (secagem de partículas) e posteriormente ter sido submetido a altas temperaturas na prensagem, fazendo com que as estruturas anatômicas da madeira sejam danificadas, causando perda de água de constituição. Para Maloney (1993), a redução na higroscopicidade também é causada pela incorporação de parafina, deixando o painel menos reativo a água.

Propriedades mecânicas dos painéis

Os resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos painéis produzidos com mistura de madeira das diferentes espécies e em duas composições são apresentados na Tabela 4.

Os valores médios de módulo de ruptura variaram entre 6,19 MPa (T3) e 10,10 MPa (T16). Os

painéis monocamada produzidos com 50% de pinus e 50% de uva-do-japão (T2) apresentaram a maior média nominal entre as misturas de espécies para painéis monocamada (9,08 MPa). Esse resultado pode ser explicado principalmente pela presença de pinus nesses painéis, espécie que apresentou a menor massa específica da madeira e conseqüentemente sofreu maior compactação nas partículas. Por outro lado, os painéis com maior média de MOR nominal foram os painéis multicamadas, com exceção dos de 50% eucalipto e 50% bracatinga (T14).

De acordo com a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), os painéis de partículas de baixa massa específica (menor que 0,64g/cm³) e de média massa específica (entre 0,64 e 0,80 g/cm³), admitem como valores mínimos 5 MPa e 11 MPa, respectivamente, para MOR. Para MOE, os valores mínimos são 1025 MPa e 1725 MPa, respectivamente.

Os valores médios, observados na Tabela 4, para o MOE variaram de 923,61 MPa (T3) a 1616,54 MPa (T16) e seguiram a mesma tendência observada para MOR.

A norma ANSI A 208.1 (1993) admite para painéis de partículas de baixa e de média massa específica valores mínimos entre 0,15 a 0,40 MPa

para ligação interna. Os valores médios para este ensaio variaram de 0,57 MPa (T11) a 1,28 MPa (T13).

Os painéis monocamada que tiveram em sua composição partículas de pinus de laboratório (T1, T2, T6 e T8) apresentaram os maiores valores de ligação interna, com exceção do tratamento 5. Ao substituir pinus por eucalipto (T3, T4 e T7), o valor médio para ligação interna teve um decréscimo considerável. A menor média para ligação interna (0,57 MPa) foi encontrada no tratamento 11, no qual foram utilizadas 100% de partículas industriais de pinus. Embora a menor resistência tenha sido apresentada pelos painéis que foram confeccionados com partículas industriais, o valor de 0,57 MPa atendeu aos requisitos mínimos sugeridos pela norma ANSI A 208.1 (1993).

Para resistência ao arrancamento de parafuso na superfície do painel, a norma de comercialização da ANSI A 208.1 (1993), para painéis de partículas de baixa e de média massa específica admite valores mínimos de 550 N e de 1000 N, respectivamente. Não há especificação para valores de arrancamento de parafuso no topo. Os valores médios para este ensaio variaram de 436,11 (T3) a 810,81 N (T13) para arrancamento de superfície e 464,41 (T3) a 676,79 N (T13) para arrancamento de topo.

Utilizando *Eucalyptus grandis* para a confecção de aglomerados, Melo e Del Menezzi (2010) observaram para o arrancamento de parafuso que os valores médios foram 710, 891,03 e 965,95 N para 0,60, 0,70, 0,80 g/cm³, respectivamente.

Análise fatorial para as propriedades mecânicas

A Tabela 5 apresenta a análise de variância dos painéis homogêneos (T1 a T4) e painéis multicamadas (T12 a T15) em função das composições e das misturas para os ensaios de flexão estática, tração perpendicular à superfície e arrancamento de parafuso.

Tanto o fator composição, como o fator mistura, apresentaram diferença estatística significativa entre as médias. A mistura de pinus e uva-do-japão apresentou a maior média nominal de MOR (9,38 MPa), não sendo diferente estatisticamente das misturas de pinus e bracatinga e de eucalipto e uva-do-japão. Os painéis que foram confeccionados com 50% de partículas de eucalipto em associação com 50% de partículas de bracatinga obtiveram a menor média de MOR (6,76 MPa).

Na comparação entre os painéis de

diferentes composições, pôde-se observar que as maiores médias foram dos painéis confeccionados em multicamadas. Provavelmente, os maiores valores médios de MOR e MOE observados para painéis multicamadas, em relação aos painéis monocamada, são devido ao maior teor de adesivo usado nas camadas superficiais e ao gradiente de massa específica que se forma ao longo da espessura do painel, com maior densificação das camadas superficiais. Esse fato mostra que um aumento do teor de adesivo compensa o efeito negativo do uso de partículas menores, podendo até melhorar a resistência à flexão estática.

Na comparação entre misturas, da mesma forma que para o MOR, a análise fatorial do MOE comprovou as observações das análises entre tratamentos. Verifica-se a tendência que a uva-do-japão tem em aumentar a rigidez dos painéis. Misturada ao pinus ou ao eucalipto em substituição à bracatinga, esta espécie eleva os valores do MOE.

Com relação ao fator composição, houve diferença significativa entre as médias de ligação interna. A média apresentada para os painéis multicamadas (1,06 MPa) foram superiores aos painéis monocamada (0,91 MPa). Da mesma forma que para o MOR e MOE, este fato deve estar relacionado ao maior teor de adesivo usado nas camadas externas dos painéis.

Com relação ao fator misturas, a mistura de pinus e eucalipto não foi estatisticamente diferente da mistura de pinus e uva-do-japão. A mistura de eucalipto e bracatinga apresentou-se inferior com uma média de 0,89 MPa. A análise fatorial comprova a tendência verificada na análise entre tratamentos. Da mesma forma que no MOR e MOE, verifica-se que o aumento da proporção de madeira de uva-do-japão tende a melhorar a Ligação Interna dos painéis. Por outro lado, enquanto no MOR e MOE a madeira de eucalipto apresentou bom desempenho quando em associação com madeira de uva-do-japão, na ligação interna esse desempenho parece ter sido suplantado pela madeira de pinus. Provavelmente, a influência negativa do eucalipto nessa propriedade esteja relacionada às dificuldades de colagem da madeira desse gênero.

No arrancamento de parafuso da superfície, os painéis monocamada são estatisticamente diferentes dos painéis multicamadas. Estes últimos apresentaram-se mais resistentes, alcançando uma média de 717,09 N, contra uma média de 551,60 N.

Esse fato é explicado pela forma de composição dos painéis e também pelo maior teor

TABELA 4: Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com misturas de madeiras das diferentes espécies e em duas composições.

TABLE 4: Average values of mechanical properties of panels made from different wood mixtures species and two compositions.

| Trat. | Espécie | | | | Comp | Propriedades Mecânicas | | | | |
|-------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|------------------------|--------------|-------------|------------|------------|
| | Pinus ¹ (%) | Eucalipto ¹ (%) | Bracatinga ¹ (%) | Uva-do-japão ¹ (%) | | MOR (MPa) | MOE (MPa) | LI (MPa) | APS (N) | APT (N) |
| T1 | 50 | - | 50 | - | Homog | 7,61 | 940,42 | 1,01 | 551,01 | 510,05 |
| T2 | 50 | - | - | 50 | Homog | 9,08 | 1141,04 | 0,92 | 590,81 | 645,39 |
| T3 | - | 50 | 50 | - | Homog | 6,19 | 923,61 | 0,85 | 436,11 | 464,41 |
| T4 | - | 50 | - | 50 | Homog | 7,88 | 1134,66 | 0,84 | 628,61 | 576,39 |
| T5 | 25 | 25 | 50 | - | Homog | 7,09 | 970,27 | 0,89 | 529,52 | 549,38 |
| T6 | 25 | 25 | - | 50 | Homog | 8,15 | 1108,68 | 1,13 | 573,49 | 614,02 |
| T7 | - | 50 | 25 | 25 | Homog | 7,11 | 999,27 | 0,81 | 589,64 | 538,02 |
| T8 | 50 | - | 25 | 25 | Homog | 8,58 | 1108,50 | 1,13 | 582,09 | 618,17 |
| T9 | 25 | 25 | 25 | 25 | Homog | 7,95 | 1077,09 | 0,95 | 612,49 | 564,44 |
| T10 | 100 | - | - | - | Homog | 9,46 | 1039,06 | 1,24 | 605,56 | 586,11 |
| T11* | 100 | - | - | - | Homog | 8,35 | 1417,51 | 0,57 | 459,93 | 474,18 |
| T12 | 50 | - | 50 | - | Multic | 8,89 | 1070,69 | 1,04 | 675,68 | 539,09 |
| T13 | 50 | - | - | 50 | Multic | 9,67 | 1128,01 | 1,28 | 810,81 | 676,79 |
| T14 | - | 50 | 50 | - | Multic | 7,33 | 1029,39 | 0,92 | 634,41 | 511,32 |
| T15 | - | 50 | - | 50 | Multic | 9,99 | 1320,95 | 0,99 | 766,79 | 576,93 |
| T16* | 100 | - | - | - | Multic | 10,10 | 1616,54 | 0,55 | 664,02 | 414,48 |

Em que: * T11 e T16: Partículas industriais; Trat. = Tratamento; ¹ Proporção com base no peso das partículas; Comp. = Composição do painel; MOR = Módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; LI = Ligação Interna; APS = Arrancamento de parafuso na superfície do painel; APT = Arrancamento de parafuso no topo do painel.

TABELA 5: Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis em função dos fatores composição e mistura.

TABLE 5: Mean values of panels mechanical properties according to the composition and mixing factors.

| Fator | | Flexão estática | | Tração perpendicular | Arrancamento de parafuso | |
|------------|-------------|-----------------|------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| | | MOR (MPa) | MOE (MPa) | Ligação Interna (MPa) | SUP (N) | TOPO (N) |
| Composição | Monocamada | 7,69 b | 1034,93 b | 0,91 b | 551,60 b | 549,16 a |
| | Multicamada | 8,97 a | 1137,25 a | 1,06 a | 717,09 a | 576,01 a |
| Mistura | 50 P + 50 B | 8,25 a | 1005,55 bc | 1,03 b | 613,33 ab | 524,76 b |
| | 50 P + 50 U | 9,38 a | 1134,52 ab | 1,10 a | 700,79 a | 661,10 a |
| | 50 E + 50 B | 6,76 b | 976,51 c | 0,89 b | 535,26 b | 487,81 b |
| | 50 E + 50 U | 8,94 a | 1227,80 a | 0,91 b | 697,68 a | 576,65 ab |

Em que: As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 95% de significância; P: Pinus; E: Eucalipto; B: Bracatinga; U: Uva-do-japão; MOR = Módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade; SUP = superfície.

de adesivo das camadas superficiais dos painéis multicamadas. Assim, para arrancamento de parafuso na superfície do painel, a influência do maior teor de adesivo e da maior densificação das camadas externas dos painéis multicamadas se reflete nos maiores valores médios de resistência. Por outro lado, no arrancamento de parafuso de

topo, sendo esse colocado no centro da espessura do painel, não existe diferença entre as partículas das duas composições e, conseqüentemente, não existem diferenças no teor de adesivo e na densificação.

Com relação ao fator mistura, houve também diferença estatística. Os painéis confeccionados a partir da mistura entre pinus e uva-do-japão e

de eucalipto e uva-do-japão obtiveram o melhor desempenho de resistência ao arrancamento de parafuso. Por outro lado, as misturas que envolveram a bracinga, apresentaram o pior desempenho.

Na análise geral das propriedades mecânicas, pôde-se observar que os painéis multicamadas foram superiores. Com relação às misturas de espécies, a mistura de pinus e uva-do-japão, na proporção de 50% cada, foi superior em todos os requisitos, exceto para o MOE da mistura 4, que não foi estatisticamente diferente da melhor média de MOE.

CONCLUSÕES

Na flexão estática (MOR e MOE) e na ligação interna, todas as análises mostraram que as madeiras de pinus e uva-do-japão apresentaram bom desempenho. Por outro lado, as madeiras de bracinga e eucalipto, apresentaram tendência em diminuir a resistência dos corpos de prova.

Para o arrancamento de parafusos (superfície e topo) o comportamento foi melhor nas misturas entre pinus e uva-do-japão e pior nas misturas entre eucalipto e bracinga.

Na comparação entre a composição dos painéis (monocamada ou multicamadas), os painéis multicamadas tiveram melhor desempenho, com exceção do arrancamento de parafuso no topo. O melhor desempenho dos painéis multicamadas foi atribuído ao maior teor de adesivo usado nas camadas externas desses painéis.

As madeiras das espécies de bracinga e uva-do-japão, ainda não utilizadas em escala industrial, foram consideradas adequadas para a fabricação de painéis aglomerados quando em misturas com espécies de menor massa específica. Foi comprovada a viabilidade de uso da madeira uva-do-japão na fabricação de painéis aglomerados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições Universidade Estadual do Centro-Oeste, Universidade Federal do Paraná e Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Particleboards**, ANSI A 208.1. New York, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**, D 1037-06. Philadelphia, PA, 2006.

CABRAL, C. P. et al. **Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp e *Pinus elliottii***, Revista *Árvore*, Viçosa, v. 31 n. 5, 2007.

CARLYLE, A. A.; MCGEE, L. B.; MCLEAN, R. A. **Wood particle board handbook**. Raleigh: North Caroline University Press, 1956. 303 p.

CARVALHO, P. E. R. **Ecologia, silvicultura e usos da uva-do-japão**. Colombo: Embrapa, 1994. (Circular técnico, n. 23).

_____. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Brasília: Embrapa informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

DACOSTA, L. P. E. et al. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3/4, p. 311-322, set. 2005.

HASELEIN, C. R.; VITAL, B. R.; DELLALUCIA, R. M. Fabricação de chapas de aglomerado com madeiras de (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e de embaúba (*Cecropia* sp). **Revista *Árvore***, Viçosa, v. 13, n. 2, p. 134-145, 1989.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de pinus, eucaliptos e acácia-negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. 96 f. Dissertação (mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; IWAKIRI, S. Modelagem de mistura de três espécies de madeiras na fabricação de chapas estruturais. **Floresta**, Curitiba, v. 33, n. 3, p. 311-320, 2003.

HIZIROGLU, S. et al. Properties of bamboo-rice straw-eucalyptus composite panels. **Forest Products Journal**, Madison, v. 55, n. 12, p. 221-225, 2005.

HRÁZSKÝ, J.; KRÁL, P. The influence of particle composition in a three-layer particleboard on its physical and mechanical properties. **Journal of Forest Science**, Prague - Czech Republic, v. 49, n. 2, p. 83-93, 2003.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis aglomerados. **Revista Acta**

- Amazonica**, Manaus, v. 40 n. 2, p. 303-308, 2010.
- IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2001.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras**, 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 1.
- MAINIERI, C.; CHIMÉLO, J. P. **Ficha das características das Madeiras Brasileiras**. São Paulo: Instituto de pesquisas Tecnológicas – Divisão de Madeira, 1989.
- MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard**. 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**, Oeiras - Portugal, v. 18, p. 59-73, 2010.
- REITZ, R.; KLEIN, R. M.; REIS, A. **Projeto madeira do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Corag, 1988.
- VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood**. 1973. 111 f. Thesis (Master of Science - Forestry) - University of Wisconsin, Madison, 1973.
- 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 a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDP e MDF para a produção de painéis aglomerados**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.