

## Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas

Production of high density particleboard  
with different types of resins

Setsuo Iwakiri  
Antonio Carlos Caprara  
Daniel do Canto Oliveira Saks  
Francisco de Prado Guisantes  
José Antonio Franzoni  
Luciana Becker Pastor Krambeck  
Patrícia Aparecida Rigatto

---

**RESUMO:** Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a influência da alta densificação do painel e uso de resinas alternativas para produção de painéis de madeira aglomerada. Foram produzidos painéis com densidades de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e 1,0 g/cm<sup>3</sup>, utilizando resinas uréia-formaldeído (UF), melamina-uréia-formaldeído (MUF), fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e fenol-formaldeído (PF). Os resultados demonstraram que o aumento na densidade do painel resulta no incremento das propriedades mecânicas e reduz a estabilidade dimensional. Os painéis produzidos com a resina PF apresentaram propriedades físicas e mecânicas superiores. Por outro lado, a resina PMUF demonstrou ser alternativa técnica e economicamente viável para produção de painel aglomerado para uso exterior.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resina, Aglomerado, Alta densificação

**ABSTRACT:** This research was developed to evaluate the influences of high densification of panel and uses of alternatives resins for particleboard manufacturing. Were manufactured panels with the densities of 0,70 g/cm<sup>3</sup> and 1,0 g/cm<sup>3</sup>, using the urea-formaldehyde (UF), melamine-urea-formaldehyde (MUF), phenol-melamine-urea-formaldehyde (PMUF) and phenol-formaldehyde (PF) resins. The results showed that panels with higher density increased mechanical properties and decreased the dimensional stability. The panels manufactured with PF resin presented better physical and mechanical properties. For the other hand, the PMUF resin could be technical and economically feasible for particleboard production aiming to exterior use.

**KEYWORDS:** Resin, Particleboard, High density

---

### INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada foram desenvolvidos durante a Segunda guerra mundial na Alemanha, devido aos problemas de indisponibilidade de madeira de boa qualidade para produção de painéis compensados. Desta forma, procurou-se fontes de matéria-prima como resíduos de madeira para produção de aglomerados como alternativa para suprir a demanda por painéis compensados.

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas que secas e misturadas com resina sintética termofixa e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob calor e pressão gerando um painel (MOSLEMI, 1974; TSOUMIS, 1991).

Os aglomerados possuem uma série de vantagens em relação à madeira serrada, como mencionadas por Maloney (1993): (i) minimização dos efeitos da anisotropia; (ii) maior uniformidade de

propriedades físico-mecânicas em diferentes pontos do painel; (iii) eliminação de defeitos naturais como nós, inclinação da grã e tensões de crescimento; (iv) possibilidade de controle das propriedades físico-mecânicas do painel através das variáveis do processo produtivo como tipo e quantidade de resina, geometria de partículas, grau de densificação, entre outras; (v) menor exigência em termos de qualidade da madeira, possibilitando uso de resíduos provenientes de outras fontes de processamento; (vi) maior produção devido à tecnologia empregada e menor custo de produção.

Dentre as inúmeras variáveis do processo produtivo, a densidade do painel e o tipo de resina utilizada na sua produção, são de grande importância para adequação das propriedades do aglomerado para determinadas aplicações.

Os painéis aglomerados são normalmente produzidos com densidade na faixa de 0,60 a 0,70 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Kelly (1977), um grau de compactação mínimo das partículas de madeira é necessário para a consolidação do painel aglomerado durante o ciclo de prensagem. A razão de compactação é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, sendo considerada como faixa aceitável os valores entre 1,3 a 1,6, para que ocorra um contato adequado entre as partículas de madeira e formação da ligação adesiva entre elas (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

A influência da densidade do painel sobre as propriedades físicas e mecânicas é altamente significativa. Segundo Kelly (1977), os painéis de maior densidade apresentam maior resistência mecânica, entretanto, a sua estabilidade dimensional é prejudicada em função do maior inchamento em espessura. O autor atribui a este fato, a maior quantidade de partículas de madeira e maior densificação do painel, estando relacionado respectivamente ao inchamento higroscópico da madeira e liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem. Na pesquisa realizada por Albuquerque (2002), para painéis aglomerados com densidades de 0,5, 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, foram constatados aumentos nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para painéis com maiores densidades. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuíram com o aumento na densidade dos painéis.

Com relação à resina, a uréia-formaldeído é a mais empregada pelas indústrias de painéis

aglomerados. O fator determinante na utilização desta resina, em larga escala para produção de aglomerados, é o seu custo ser menor em relação às outras resinas. Entretanto, a baixa resistência à umidade limita o seu emprego ao uso interno (MARRA, 1992). Outras resinas como fenol-formaldeído e isocianato são utilizadas para produção de painéis de partículas orientadas para uso estrutural como “OSB – oriented strand board”, que requerem maior resistência mecânica e alta resistência à umidade (CLOUTIER, 1998). Vários pesquisadores, entre eles, Yusoff e Horie (1977) e Murakami (1999), estudaram o desempenho de painéis “OSB” produzidos com resinas isocianato (MDI), fenol-fomaldeído e melamina-formaldeído. Os resultados obtidos indicaram melhor desempenho da resina isocianato em relação às resinas fenol-formaldeído e melamina-formaldeído. Entre os painéis produzidos com estas resinas, os resultados foram similares. Na produção de painéis de fibras de alta densificação “HDF”, destinadas principalmente para uso em piso, é empregada a melamina-formaldeído, com alta resistência à umidade. Face à importância da resina na produção de painéis reconstituídos de madeira em função da aplicação final, os fabricantes de resina estão disponibilizando no mercado resinas compostas dos tipos melamina-uréia-formaldeído e fenol-melamina-uréia-formaldeído, no sentido de buscar uma otimização na relação custo-benefício.

Este trabalho foi desenvolvido com objetivo de avaliar a influência da alta densificação do painel e uso de resinas alternativas à uréia-formaldeído, sobre as propriedades de painéis aglomerados.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Materiais

Foram utilizadas nesta pesquisa partículas de madeira de *Pinus* spp (*P. taeda* e *P. elliottii*) destinadas para a composição das camadas externas dos painéis, coletadas da linha de produção industrial da empresa Berneck Aglomerado S.A. As resinas utilizadas foram uréia-formaldeído (UF), melamina-uréia-formaldeído (MUF), fenol-melamina-uréia-formaldeído (PMUF) e fenol-formaldeído (PF).

### Plano experimental

Os painéis foram produzidos em laboratório com as dimensões de 50 x 50 x 1,5 cm e densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e 1,0 g/cm<sup>3</sup>, conforme demonstrados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Plano experimental. (Experimental chart).

Tratamento	Resina	Densidade nominal (g/cm <sup>3</sup> )	Número painéis
T1	UF	0,70	3
T2	UF	1,00	3
T3	MUF	1,00	3
T4	PMUF	1,00	3
T5	PF	1,00	3

### Produção de painéis

Inicialmente, as partículas foram secas ao teor de umidade de 3%, com base no seu peso seco. Os diferentes tipos de resinas, conforme definidos no plano experimental (Tabela 1), foram aplicados sobre as partículas em quantidade de 10% de sólidos, com base no peso seco das partículas. As partículas “encoladas” foram distribuídas aleatoriamente sobre a caixa formadora de acordo com a quantidade em peso conforme a densidade nominal dos painéis estabelecidos no plano experimental (Tabela 1).

Os painéis foram prensados de acordo com os parâmetros do ciclo de prensagem apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Parâmetros do ciclo de prensagem. (Press cycle parameters).

Tratamento	Pressão específica (kgf/cm <sup>2</sup> )	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)
T1	40	10	140
T2	50	10	140
T3	50	10	140
T4	50	10	140
T5	50	10	180

Para a prensagem dos painéis com densidade de 1,0 g/cm<sup>3</sup> (T2, T3, T4 e T5), foi aplicada maior pressão específica (50 kgf/cm<sup>2</sup>) para melhor consolidação do colchão de partículas. Foi empregada maior temperatura de prensagem para painéis produzidos com resina fenol-formaldeído.

### Avaliação das propriedades dos painéis

Após a prensagem, os painéis foram acondicionados em câmara de climatização à temperatura de 20 + 1°C e umidade relativa de 65 + 3% até a estabilização. Posteriormente, foram retirados os corpos de prova para ensaios de ligação interna, flexão estática e inchamento em

espessura após 24 horas de imersão em água. As dimensões dos corpos de prova, bem como os métodos de ensaios foram baseados na Norma Européia – CEN (1993-02.26).

A análise estatística dos resultados foi realizada conforme delineamento inteiramente casualizado, com emprego de análise de variância e teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas

Os valores médios de densidade e inchamento em espessura dos painéis estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores médios das propriedades físicas dos painéis. (Average values of panels physical properties).

Tratamento	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Inchamento em espessura 24 horas (%)
T1	0,70	25,74 A
T2	0,96	43,97 C
T3	0,94	34,39 B
T4	0,95	29,98 AB
T5	0,93	21,08 A

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%

A densidade dos painéis do tratamento 1 foi igual à densidade nominal calculada para 0,70 g/cm<sup>3</sup>. As densidades obtidas para os painéis dos demais tratamentos foram um pouco inferiores à densidade nominal calculada para 1,0 g/cm<sup>3</sup>. A redução, embora não seja muito significativa em se tratando de condições laboratoriais de produção, pode ser atribuída principalmente às perdas de materiais durante as fases de retirada das partículas da encoladeira, formação do colchão e carregamento da prensa. Outro fator que pode ter contribuído para esta redução da densidade é o pequeno retorno em espessura do painel após a sua retirada da prensa, com conseqüente aumento no volume do painel e redução na densidade.

Os valores médios obtidos para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, demonstraram que para os painéis produzidos com resina UF, a maior densidade do painel de 1,0 g/cm<sup>3</sup>, resultou em inchamento em espessura superior em comparação ao painel produzido com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Esta diferença pode ser

atribuída ao maior volume de partículas presentes no painel com densidade de 1,0 g/cm<sup>3</sup> e, conseqüentemente, maior a liberação das tensões de compressão impostas durante a prensagem.

Para painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> utilizando diferentes tipos de resinas, pode-se constatar que os tratamentos com as resinas MUF (T3), PMUF (T4) e PF (T5) apresentaram inchamento em espessura estatisticamente inferior em comparação ao tratamento com resina UF (T2). A melhora significativa na estabilidade do painel com colagem MUF, PMUF e PF pode ser atribuída à inclusão dos componentes melamina e fenol na composição da resina com a uréia-formaldeído. Cabe ainda ressaltar que os painéis produzidos com as resinas PMUF e PF apresentaram menor inchamento em espessura em comparação aos painéis com colagem MUF.

### Propriedades mecânicas

Os valores médios de ligação interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura em flexão estática dos painéis estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis.  
(Average values of panels mechanical properties)

Tratamento	Ligação interna (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (kgf/cm <sup>2</sup> )	Módulo de ruptura (kgf/cm <sup>2</sup> )
T1	9,99 A	21.393 A	147 A
T2	11,96 AB	28.743 AB	220 AB
T3	16,76 B	29.694 AB	221 AB
T4	16,17 B	28.521 AB	219 AB
T5	15,39 B	35.594 B	282 B

Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade de 95%

Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas MUF, PMUF e PF apresentaram valores médios de ligação interna estatisticamente superiores em comparação aos painéis produzidos com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e resina UF. Para os painéis colados com resina UF, não foi constatada diferença estatística entre as médias com o aumento na densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> para 1,00 g/cm<sup>3</sup>. Não foram constatadas diferenças estatísticas entre os valores médios de ligação interna dos painéis produzidos com a densidade de 1,0 g/cm<sup>3</sup> e resinas UF, MUF, PMUF e PF.

Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas MUF, PMUF e PF apresentaram valores médios superiores em comparação ao valor mínimo de 8,75 kgf/cm<sup>2</sup>, exigido pela norma

CS 236-66 para painéis colados com resina durável e resistente à umidade com densidade acima de 0,80 g/cm<sup>3</sup>.

A análise das propriedades de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) dos painéis indicam que apenas o tratamento 5, com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resina PF, apresentou valor médio estatisticamente superior em relação aos painéis produzidos com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e resina UF. Para os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup>, não foram constatadas diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes tipos de resinas (UF, MUF, PMUF, PF). Entretanto, em termos de médias absolutas, pode-se verificar uma tendência de aumento no MOE e MOR dos painéis produzidos com a resina PF. Da mesma forma, os painéis produzidos com maior densidade mostraram tendências de aumento no MOE e MOR.

Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas MUF, PMUF e PF apresentaram valores médios de MOE e MOR superiores em comparação ao valor mínimo de 24.500 kgf/cm<sup>2</sup> e 168 kgf/cm<sup>2</sup>, exigido pela norma CS 236-66 para painéis colados com resina durável e resistente à umidade com densidade acima de 0,80 g/cm<sup>3</sup>.

### CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas PMUF e PF apresentaram valores médios de inchamento em espessura estatisticamente iguais em comparação aos painéis produzidos com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e resina UF;
- Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas MUF, PMUF e PF apresentaram resultados de ligação interna estatisticamente superiores aos painéis produzidos com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> colados com a resina UF;
- Os painéis produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> colados com resina PF apresentaram resultados estatisticamente superiores de MOE e MOR em relação aos painéis produzidos com densidade de 0,70 g/cm<sup>3</sup> colados com resina UF;
- Os resultados das propriedades físicas e mecânicas indicam que os painéis aglomerados produzidos com densidade de 1,00 g/cm<sup>3</sup> e resinas PMUF e PF são potencialmente viáveis para usos que requeiram maior resistência mecânica e estabilidade dimensional.

## AUTORES

**Setsuo Iwakiri** é Professor Titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170 – E-mail: setsuo@floresta.ufpr.br

**Antonio Carlos Caprara** é Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

**Daniel do Canto Oliveira Saks** é Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

**Francisco de Prado Guisantes** é Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

**José Antonio Franzoni** é Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

**Luciana Becker Pastor Krambeck** é Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

**Patrícia Aparecida Rigatto** é Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná – Av. Lothário Meissner, 3400 – Jardim Botânico – Curitiba, PR – 80210-170.

## REFERÊNCIAS

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

COMMERCIAL STANDARD. **CS-236-66: Mat formed wood particleboard**. 1968.

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.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN 02.26**. 1993.

KELLY, M.W. A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA. Forest Service. **Forest Products Laboratory General Technical Report**, Madison, n.10, p.1-66, 1977.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2.ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 689 p.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard: materials**. London: Southern University Press, 1974. v.1, 244 p.

MURAKAMI, K. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers: 1. **Japan Wood Science**, Tokyo, v.45, n.5, p.395-402, 1999.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

YUSOFF, M.N.M.; HORIE, H. The manufacture of oriented strand boards from rubberwood. **Journal of Tropical Forest Products**, Malaysia, v.3, n.1, p.43-50, 1997.