

Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*)Particleboard produced from residues generated after the extraction of candeia wood oil (*Eremanthus erythropappus*)Rosimeire Cavalcante dos Santos¹, Lourival Marin Mendes²,
Fábio Akira Mori² e Rafael Farinassi Mendes³**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi analisar, por meio das propriedades físicas e mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) associado às madeiras de eucalipto e pinus e dois teores de adesivo, sobre as chapas de partículas aglomeradas. Foram utilizados dois teores do adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%) e madeiras de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp em 3 porcentagens de incorporação (25%, 50%, 75%) ao resíduo da madeira de candeia, gerado após a extração do óleo. O ciclo de prensagem das chapas ocorreu sob aquecimento elétrico à temperatura de 160°C; pressão de 40 kgf/cm² e tempo de 8 minutos. As propriedades avaliadas, segundo as normas ASTM D 1037-92 e CSA 236-66, foram: ligação interna; flexão estática (módulo de elasticidade - MOE e módulo de ruptura - MOR); compressão paralela à superfície das chapas; absorção de água e inchamento em espessura, após 2 e 24 horas de imersão. O resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável na confecção das chapas em todas as propriedades, exceto para flexão estática. O aumento na porcentagem do resíduo da madeira de candeia proporcionou redução no MOE e MOR. O acréscimo de adesivo de 8% para 12% contribuiu para melhorar as propriedades de ligação interna e compressão paralela.

Palavras-Chave: Resíduos de madeira, Uréia-formaldeído, Partículas de madeira

Abstract

The objective of this work was to evaluate, using physical and mechanical properties, the influence of different proportions of the candeia wood residue (*Eremanthus erythropappus*) associated with *Eucalyptus* and pine wood and two contents of adhesive to the particleboards. Used were: two contents of urea-formaldehyde adhesive (8% and 12%); *Eucalyptus* spp. and *Pinus* spp. woods in three percentages of incorporation (25%, 50%, 75%) to candeia wood residue, which was generated after oil extraction. The pressing cycle of the boards occurred under an electric heating temperature of 160°C; a pressure of 40 kgf/cm² and a time of 8 minutes. The evaluated properties, according to the standards ASTM D 1037-92 and CSA 236-66, were: internal bond, static bending (modulus of elasticity - MOE and modulus of rupture - MOR), compression parallel to the boards surface, water absorption and swelling thickness, after 2 and 24 hours immersion. The results showed that candeia wood residue was viable for particleboards manufacturing for all properties studied, except for the static bending test. The increase in candeia wood residue percentages promoted reduction in the MOE and MOR. The use of 12% resin content instead of 8% content contributed to the internal bond and compression parallel properties.

Keywords: Wood residues, Urea-formaldehyde, Wood particles

INTRODUÇÃO

No contexto industrial de produtos florestais, tem-se observado atualmente um crescimento contínuo na produção e diversidade de produtos economicamente acessíveis. Há também uma preocupação com a qualidade tecnológica, incluindo aí os variados tipos de chapas

(LATORRACA *et al.*, 1999). O aspecto ambiental tem sido também considerado como uma questão importante quando se considera os processos produtivos (BRAGA, 2002).

Os produtos particulados constituídos pelas chapas de partículas, chapas minerais e chapas de fibra vêm substituindo os produtos tradicionalmente usados e vários tipos de chapas de

¹Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras – E-mail: meire_caico@yahoo.com.br

²Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: lourival@ufla.br; morif@ufla.br

³Graduando em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: rafael_farinassi@ufla.br

partículas estão ganhando espaço comercial em virtude da melhor relação preço/desempenho, da gama de produtos disponíveis e flexibilidade na aplicação para os mais variados fins e da crescente conscientização dentro da sociedade moderna de que não é mais viável a convivência com processos que utilizam reservas florestais, com níveis elevados de perdas.

De acordo com Bittencourt (1995), chapa de madeira aglomerada é um produto composto de madeira triturada em pedaços miúdos e/ou de outros materiais lignocelulósicos unidos com adesivos sintéticos submetidos a calor e pressão. Este produto também pode ser constituído por cavacos, maravalhas ou lascas de madeira. Distingue-se pela matéria prima, pelo adesivo, pela distribuição das partículas, pela qualidade da superfície acabada (lisa, revestida etc.).

No mundo, 50% das indústrias destes produtos empregam madeira de coníferas como matéria prima principal e outras empregam mais de uma espécie de madeira em suas linhas de produção (BNDES, 2000). Porém, chapas de partículas podem ser produzidas com o aproveitamento de resíduos madeireiros, desde que o controle sobre o material lignocelulósico seja realizado.

A quantidade de resíduos de madeira existente no Brasil, devido às indústrias madeireiras, é bastante elevada. Apesar do volume que apresentam estes resíduos têm sido pouco utilizados e, quando isso ocorre é feito para gerar energia.

O aproveitamento do resíduo da madeira de candeia após a extração do óleo é uma das alternativas para a produção de chapas. Grande volume de resíduo madeireiro é gerado a partir desse processo, pois o óleo é largamente utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos. Parte desse resíduo é utilizada para fornecer energia às caldeiras durante o processo de extração e outra parte é acumulada nos pátios das fábricas, o que gera problemas com armazenamento e contaminação do ambiente.

Este trabalho teve como objetivo analisar, por meio das propriedades físico-mecânicas, a influência das diferentes proporções do resíduo da madeira de candeia associado às madeiras de eucalipto e pinus e de dois níveis de adesivo uréia-formaldeído sobre as chapas de partículas aglomeradas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*), após a extração do óleo, procedentes da indústria de óleo de

candeia CITROMINAS, localizada no município de Carrancas, MG; seis clones de *Eucalyptus* spp procedentes da companhia mineira de metais, localizada no município de Vazante, MG; e quatro árvores de *Pinus* spp, coletadas no Campus da Universidade Federal de Lavras, MG.

Das árvores de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp retiraram-se discos de 2,5 cm de espessura, a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, para determinação da densidade básica da madeira através do método de imersão, conforme descrito por Vital (1984). O restante dessas madeiras foi transformado em toretes para posterior utilização na produção de compensados multilaminados. A madeira de *Eremanthus erythropappus*, em forma de tora, foi amostrada no pátio da fábrica, do mesmo lote do resíduo utilizado na produção das chapas, em volume suficiente para a determinação da densidade básica.

Na confecção das chapas de partículas aglomeradas foram utilizados os resíduos da laminação e do arredondamento das toras de eucalipto e pinus, em sua maioria, resíduos provenientes da secção periférica das toras, e resíduos da madeira de candeia, após a extração do óleo.

As partículas foram produzidas com dimensões nominais de 3 centímetros de comprimento e 0,6 mm de espessura. Em seguida, foram processadas em moinho martelo com malha de 8 mm, sendo posteriormente classificadas em peneiras sobrepostas com malhas de 4mm e 0,6mm. Tanto as partículas provenientes do processo de laminação, quanto aquelas provenientes do processo de extração do óleo, foram retidas na peneira de 0,6 mm. As partículas então foram secas em estufa a 103°C, até atingirem o teor de umidade de 3%, base massa seca.

A quantidade de partículas foi calculada em função do seu teor de umidade e dos parâmetros das chapas. O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído nos teores de 8% e 12%, base peso seco das partículas, sendo também acrescentada em todos os tratamentos 1% de emulsão de parafina, base peso seco das partículas.

O delineamento experimental empregado na produção das chapas pode ser visto na Tabela 1.

As partículas foram colocadas em um tambor giratório, à velocidade de 30 rotações por minuto. O adesivo e a emulsão de parafina foram aplicados por meio de pulverização, durante um tempo médio de 6 minutos. Em seguida as partículas foram colocadas em uma caixa formadora com dimensões de 48 x 48 cm, procedendo-se à pré-prensagem em prensa manual sob pressão

média de 10 kgf/cm² durante 3 minutos. A prensagem propriamente dita foi realizada em uma prensa hidráulica automática de pratos planos e horizontais, com aquecimento elétrico a 160°C e pressão de 40 kgf/cm², durante 8 minutos. Foram utilizados separadores para limitar a espessura das chapas em 1,5cm.

Tabela 1. Delineamento experimental empregado na confecção das chapas de partículas aglomeradas.

Table 1. Experimental designing used in manufacturing particleboards.

Tratamentos	Partículas (%)			Adesivo (%)
	Eucalipto	Pinus	Candeia	
T1	25	-	75	8
T2	50	-	50	8
T3	75	-	25	8
T4	-	25	75	8
T5	-	50	50	8
T6	-	75	25	8
T7	25	-	75	12
T8	50	-	50	12
T9	75	-	25	12
T10	-	25	75	12
T11	-	50	50	12
T12	-	75	25	12

Seguindo as especificações da ASTM D 1037 (1992), depois de prensadas as chapas foram esquadrejadas e levadas à sala de climatização nas condições de 65±5% de umidade relativa e temperatura de 20±1 °C, até atingir a umidade de equilíbrio, em torno de 12%, quando tiveram suas densidades nominais determinadas.

Os corpos-de-prova foram confeccionados de acordo com os procedimentos recomendados pela norma americana ASTM D 1037 (1992), com as devidas modificações, retirando-se quatro corpos-de-prova de cada chapa para o ensaio de flexão estática e quatro para o ensaio de compressão paralela às fibras, além de dois corpos-de-prova para os ensaios de absorção de água e inchamento em espessura e seis para o ensaio de ligação interna. A densidade das chapas foi determinada a partir das mensurações da massa e do volume em cada corpo-de-prova e a média obtida por tratamento.

O experimento realizado com painéis aglomerado convencional foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os tratamentos foram arranjados segundo um esquema fatorial 2 x 2 x 3, sendo 2 teores de adesivo (8% e 12%), 2 tipos de madeira (eucalipto e *Pinus*) e 3 porcentagens de substituição de candeia pelas madeiras estudadas (25%, 50% e 75%). O modelo estatístico que descreve as observações é dado por:

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + m_j + p_k + rm_{ij} + rp_{ik} + mp_{jk} + rmp_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

em que:

y_{ijkl} é o valor da variável dependente na l-ésima repetição que recebeu o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição; com $l = 1, 2, 3$;

μ é uma constante inerente a cada observação;

r_i é o efeito do i-ésimo teor de adesivo, com $i = 1, 2$;

m_j é o efeito do j-ésimo tipo de madeira, com $j = 1, 2$;

p_k é o efeito da k-ésima porcentagem de substituição, com $k = 1, 2, 3$;

rm_{ij} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo e j-ésimo tipo de madeira;

rp_{ik} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo e k-ésima porcentagem de substituição;

mp_{jk} é o efeito da interação entre o j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição;

rmp_{ijk} é o efeito da interação entre o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição;

ε_{ijkl} é o erro experimental associado à observação na l-ésima repetição que recebeu o i-ésimo teor de adesivo, j-ésimo tipo de madeira e k-ésima porcentagem de substituição, independente e com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade das chapas

A densidade média estimada para as chapas foi de 0,70 g/cm³. No entanto, foram encontrados valores entre 0,55 e 0,64 g/cm³. Essa diferença pode ser atribuída, principalmente, à perda de partículas durante o manuseio, nas fases anteriores à consolidação do painel na prensa quente, em razão de condições laboratoriais de manufatura. As chapas foram classificadas de média densidade, segundo a norma CS 236-66. Esta classificação é importante, pois valores mínimos para as outras propriedades físicas e para as propriedades mecânicas guardam estreita relação com a densidade.

Valores variando entre 0,61 e 0,71 g/cm³ foram observados no trabalho de Lima *et al.* (2002), no qual a densidade estimada das chapas foi de 0,70 g/cm³.

As densidades médias das chapas em g/cm³ observadas nos tratamentos foram: T1= 0,55; T2= 0,63; T3= 0,62; T4= 0,64; T5= 0,59; T6= 0,63; T7= 0,61; T8= 0,61; T9= 0,61; T10= 0,61; T11= 0,61 e T12= 0,61. Não foi observada diferença signifi-

cativa entre os valores médios encontrados para essa propriedade para nenhum dos parâmetros estudados nos tratamentos (teor de adesivo, porcentagem de substituição e tipo de madeira).

Absorção de água após 2 horas de imersão

A análise de variância indicou um efeito significativo da interação tripla entre os fatores estudados teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) para a variável absorção de água em 2 e 24 horas.

Os resultados apresentados para a análise de desdobramento indicaram que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre a absorção de água em 2 horas quando foi utilizado 12% de adesivo em painéis confeccionados com a associação de eucalipto à candeia e 8% de adesivo em painéis em que foi associado *Pinus* à candeia.

Na Figura 1 pode-se observar que existe relação linear decrescente entre a absorção de água em duas horas e a porcentagem de eucalipto e *Pinus* associados à candeia com 12% e 8% de adesivo, respectivamente.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que, para 75% de eucalipto associado à candeia, a absorção de água em 2 horas foi significativamente superior quando se utilizou 8% de adesivo na confecção de painéis. Comportamento semelhante foi observado para associação de *Pinus* à candeia, nas porcentagens de 25% e 50% desta madeira. Para as demais porcentagens de associação de eucalipto e *Pinus* à candeia não houve diferença significativa para

esta propriedade nos painéis confeccionados com 8% e 12% de teor de adesivo.

Iwakiri *et al.* (2004) estudaram paralelamente a influência de dois teores de adesivo uréia-formaldeído sobre as propriedades dos painéis (6% e 8%) e não encontraram diferenças significativas para a absorção de água pelos painéis. Já no presente trabalho, foi observada influência dos diferentes teores de adesivo na confecção dos painéis aglomerado convencional sobre a absorção de água, após duas horas de imersão.

Os resultados mostraram que, com o aumento na porcentagem de adesivo de 8% para 12%, ocorreu redução da absorção de água pelos painéis, nos tratamentos com 75% de eucalipto associado e com 25% e 50% de *Pinus* associado. Essas diferenças encontradas nos tratamentos com eucalipto podem estar relacionadas ao maior volume dessa madeira contido nos painéis em relação aos volumes estabelecidos para os outros tratamentos (25% e 50%), em função da menor densidade proporcional encontrada para madeira nessa associação (0,54 g/cm³), aumentando, assim, a área de contato superficial da madeira com a água. Nas proporções de 25% e 50% de eucalipto associado, a densidade média da madeira foi de 0,57 g/cm³.

Absorção de água após 24 horas de imersão

Os resultados apresentados para a análise de desdobramento indicaram que não houve efeito significativo das porcentagens de substituição de madeira por candeia sobre a absorção de água em 24 horas.

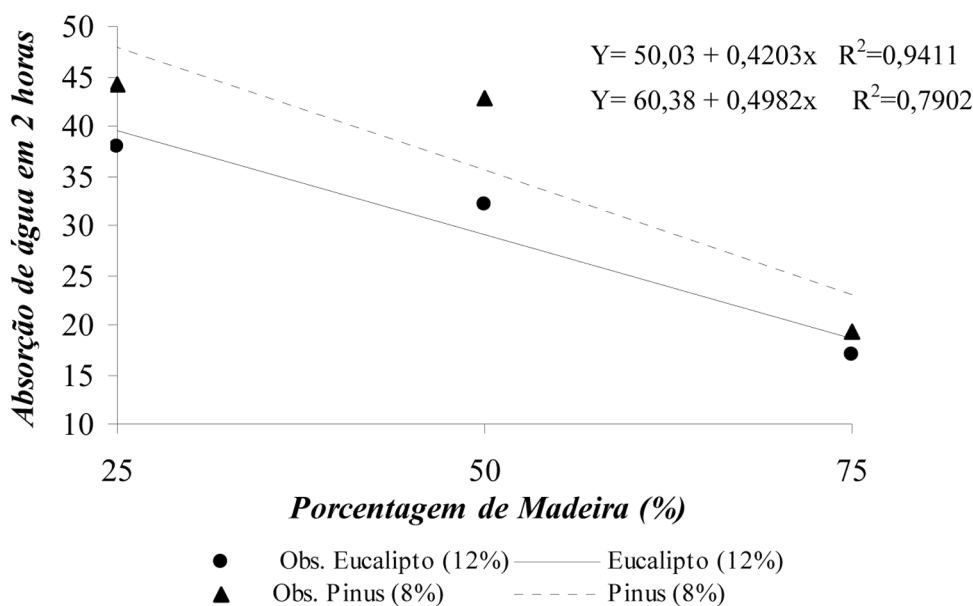


Figura 1. Valores médios de absorção de água (%) após 2 horas de imersão, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% e 12% de teor de adesivo.

Figure 1. Average values of water absorption (%) after immersion for 2 hours, related to wood percentages associated to candeia wood, using 8% and 12% of resin content.

Tabela 2. Valores médios de absorção de água (A.A.) em (%) após 2 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de associação das madeiras de eucalipto e pinus à madeira de candeia.

Table 2. Average values of water absorption in (%) after immersion for 2 hours, in function of the adhesive content; wood type and percentage association of eucalypt and pine wood to candeia wood.

Porcentagem de madeira (%)		Teor de adesivo ¹	
Eucalipto	Candeia	8%	12%
25	75	38,88 a	38,00 a
50	50	48,39 a	32,05 a
75	25	41,77 a	16,99 b
Pinus	Candeia	8%	12%
25	75	44,22 a	25,04 b
50	50	42,88 a	21,51 b
75	25	19,31 a	20,64 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Porém, os resultados dos valores médios na Tabela 3 indicam diferenças dos teores de adesivo e mostram que, para 75% de eucalipto associado à candeia, a absorção de água em 24 horas foi significativamente superior quando se utilizou 8% de adesivo na confecção de painéis. Comportamento semelhante a este foi observado quando *Pinus* foi associado à candeia nas porcentagens de 25% e 50%. Para as demais porcentagens de substituição, tanto de *Pinus* como de eucalipto, não houve diferença significativa para esta propriedade, nos dois teores de adesivo.

Tabela 3. Valores médios de absorção de água (A.A.) em (%) após 24 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de associação das madeiras de eucalipto e pinus à madeira de candeia.

Table 3. Average values of water absorption in (%) after immersion for 24 hours, in function of the adhesive content, wood type and percentage association of eucalypt and wood pine to candeia wood.

Porcentagem de madeira (%)		Teor de adesivo ¹	
Eucalipto	Candeia	8%	12%
25	75	48,85 a	55,25 a
50	50	54,70 a	47,66 a
75	25	55,23 a	35,08 b
Pinus	Candeia	8%	12%
25	75	57,79 a	40,69 b
50	50	54,01 a	36,66 b
75	25	40,28 a	40,68 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% significância.

De modo geral, os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram menor absorção de água em relação aos painéis com 8%, tanto para 2h, quanto para 24h de imersão. A apli-

cação de maior quantidade de adesivo às partículas de madeira pode ter contribuído para melhor impermeabilização das superfícies das partículas e, conseqüentemente, para redução na absorção de água. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri *et al.* (2000), ao estudarem três tipos de espécies de eucalipto, misturadas e individualizadas, na forma de resíduo de processamento de serrarias e misturas proporcionais, com dois níveis de adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%).

Inchamento em espessura após 2h de imersão

A análise de variância indicou efeito significativo da interação entre os fatores tipo de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S), para as variáveis inchamento em espessura em 2 e em 24 horas.

Os resultados da análise de desdobramento indicaram que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre o inchamento em espessura em 2 horas quando foi utilizado 8% de adesivo em painéis que associam tanto eucalipto quanto *Pinus* à candeia.

Pela Figura 2, pode-se observar que existe relação linear crescente entre o inchamento em 2 horas e a porcentagem de eucalipto utilizada em associação à candeia, quando utilizado 8% de adesivo. Para a associação de *Pinus* à candeia, comportamento inverso foi observado, ou seja, a relação entre o inchamento em 2 horas e a porcentagem utilizada na associação *Pinus* à candeia é descrita por uma relação linear decrescente para esse teor de adesivo.

Os resultados apresentados na Tabela 4 indicam que, para 75% de eucalipto associado à candeia, o inchamento em 2 horas foi significativamente superior àquele utilizando 8% de adesivo na confecção dos painéis. Para as demais porcentagens de associação desta mesma madeira à candeia, não houve diferença significativa no inchamento em 2 horas, quando a porcentagem de adesivo passou de 8% para 12%. Para as porcentagens 25% e 50% de *Pinus* associado à candeia, o inchamento em espessura em 2 horas também foi significativamente superior, quando utilizado 8% de teor de adesivo. Para 75% desta mesma madeira associada à candeia, não houve diferença significativa no inchamento em 2 horas quando a porcentagem de adesivo utilizada passou de 8% para 12%.

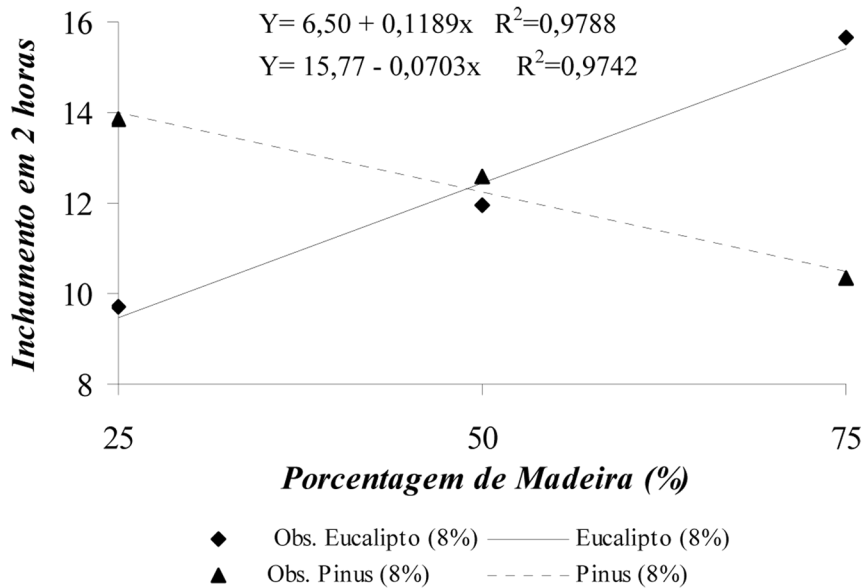


Figura 2. Valores médios de inchaço em espessura (%) após 2 horas de imersão, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% de teor de adesivo.

Figure 2. Average values of thickness swelling (%) after water immersion for 2 hours, related to wood species percentages associated to candeia wood, using 8% of resin content.

Tabela 4. Valores médios de inchaço em espessura (IE) em (%) após 2 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de associação das madeiras de eucalipto e pinus à madeira de candeia.

Table 4. Average values of thickness swelling in (%) after water immersion for 2 hours, in relation to adhesive content, wood type and percentage association of eucalypt and pine wood to candeia wood.

Porcentagem de madeira (%)		Teor de adesivo ¹	
Eucalipto	Candeia	8%	12%
25	75	9,73 a	9,87 a
50	50	11,95 a	10,62 a
75	25	15,67 a	8,15 b
Pinus		Candeia	
25	75	8%	12%
25	75	13,85 a	8,06 b
50	50	12,59 a	7,69 b
75	25	10,33 a	9,78 a

Inchaço em espessura após 24 horas de imersão

Os resultados dos níveis de desdobramento indicaram que houve efeito das porcentagens de substituição sobre o inchaço em 24 horas, quando utilizado 8% de adesivo em painéis em que houve associação de eucalipto à candeia e para 12% de adesivo naqueles que associam tanto eucalipto como *Pinus* à candeia.

Na Figura 3 pode-se observar relação linear crescente entre o inchaço em espessura em 24 horas e a porcentagem de associação, tanto de eucalipto quanto de *Pinus* à candeia com 8% e 12% de adesivo, respectivamente. A relação entre o inchaço em 24 horas e a porcentagem de associação de eucalipto à candeia, quan-

do utilizado 12% de adesivo, é descrita por uma equação quadrática em que o mínimo de inchaço em espessura em 24 horas foi conseguido com, aproximadamente, 43% de associação do eucalipto ao resíduo da madeira de candeia.

Os valores médios apresentados na Tabela 5 indicam que, para 50% e 75% de eucalipto associado à candeia, o inchaço em espessura em 24 horas foi significativamente superior, quando se utilizou 8% de adesivo na confecção dos painéis. Comportamento semelhante a este foi observado quando *Pinus* foi associado à candeia nas porcentagens de 25% e 50% de substituição. Para 25% de eucalipto associado à candeia, bem como para 75% de *Pinus*, para esta mesma associação não houve diferença significativa para a propriedade avaliada, para os dois teores de adesivo estudados.

As alterações nos painéis, quando expostos à umidade, tornam-nas um fator limitante em relação ao uso do produto. Absorção de água pelos painéis aglomerado convencional, tanto em 2 quanto em 24 horas, mostram que a aplicação de maior quantidade de adesivo reduziu o inchaço em espessura. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri *et al.* (2004) ao encontrarem valores inferiores para essas propriedades em painéis produzidos com maior conteúdo de adesivo. Estes autores estudaram o comportamento de *Grevillea robusta* na produção de painéis aglomerado, utilizando diferentes densidades (0,60g/cm³ e 0,80g/cm³) e teores de adesivo (6% e 8%).

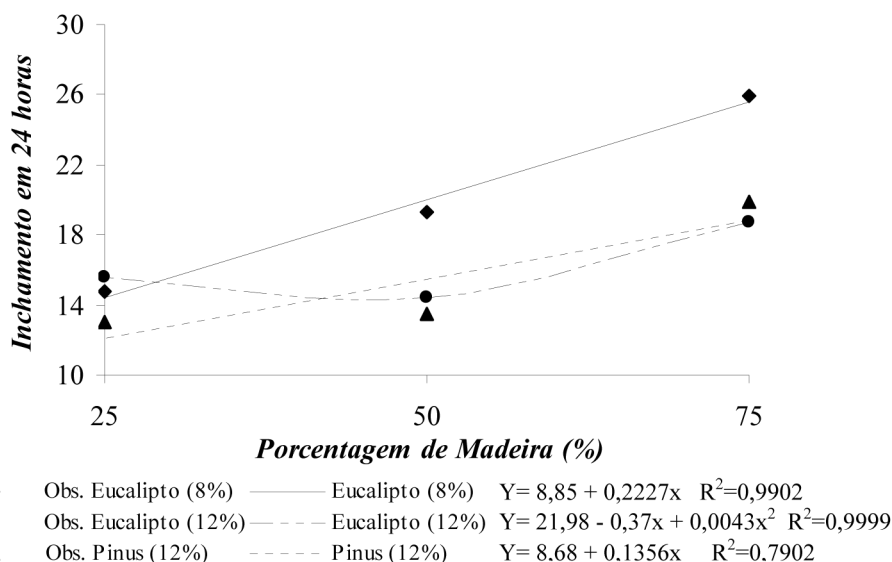


Figura 3. Valores médios de inchaço em espessura (%) em 24 horas, em função das porcentagens de madeiras associadas à candeia, utilizando 8% e 12% de teor de adesivo.

Figure 3. Average values of thickness swelling (%) in 24 hours, related to percentages of different species wood associated to candeia, using 8% and 12% of resin content.

Tabela 5. Valores médios de inchaço em espessura (IE) em (%) após 24 horas de imersão, em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de associação das madeiras de eucalipto e pinus à madeira de candeia.

Table 5. Average values of thickness swelling in (%) after water immersion for 24 hours, related to adhesive content; wood type and percentage association of eucalypt and pine wood to candeia wood.

Porcentagem de madeira (%)		Teor de adesivo ¹	
Eucalipto	Candeia	8%	12%
25	75	14,74 a	15,53 a
50	50	19,35 a	14,46 b
75	25	25,88 a	18,75 b
Pinus	Candeia	8%	12%
25	75	19,25 a	13,08 b
50	50	19,40 a	13,45 b
75	25	20,87 a	19,86 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Em relação aos valores estabelecidos pela norma CS 236-66, os que foram observados para os tratamentos adotados mantiveram-se dentro da média, ou seja, abaixo de 35% de inchaço em espessura.

Ligação interna

De acordo com a análise de variância houve efeito significativo do teor de adesivo sob a variável ligação interna. A interação entre os fatores teor de adesivo x tipo de madeira x porcentagem de substituição (R x M x S) foi significativa.

Os resultados da análise de desdobramento indicaram que houve efeito apenas das

porcentagens de substituição, sobre a variável analisada quando utilizado 12% de adesivo em painéis nos quais se associou eucalipto à candeia. Observa-se na Figura 4 que existe relação quadrática entre a tensão medida e a porcentagem de eucalipto utilizada em associação à candeia, para um teor de adesivo de 12%. Houve redução na tensão quando a porcentagem de eucalipto associado à candeia passou de 25% para 50% e posterior aumento na tensão com o aumento da porcentagem de eucalipto associado para 75%.

Os valores médios da Tabela 6 mostram um aumento significativo no valor da resistência à ligação interna ao aumentar o teor de adesivo de 8% para 12%, quando o eucalipto foi utilizado em associação à candeia, na porcentagem de 75%. Para a associação de *Pinus* à candeia, houve um aumento significativo no valor de tensão, de 8% para 12% de adesivo, quando a associação foi de 50%.

As maiores médias significativas mostram que os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram, de modo geral, maiores valores de ligação interna em relação aos produzidos com 8%. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri *et al.* (2000), ao estudarem a influência da mesma variação para os teores de adesivo utilizados neste trabalho, em três diferentes espécies de eucalipto. Este incremento em resistência pode ser atribuído à maior disponibilidade de adesivo por unidade de área das partículas.

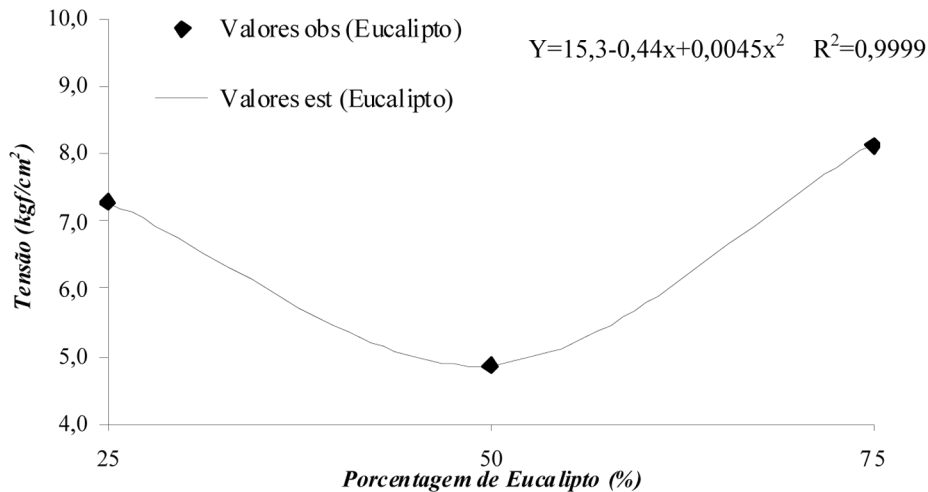


Figura 4. Valores médios (Kgf/cm²) de ligação interna, em função das porcentagens de eucalipto associadas à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

Figure 4. Average values (Kgf/cm²) of internal bond, related to eucalyptus wood percentage associated with candeia, using 12% of resin content.

Tabela 6. Valores médios de resistência à ligação interna em kgf/cm², em função dos teores de adesivo, tipos de madeira e porcentagem de associação das madeiras de eucalipto e pinus à madeira de candeia.

Table 6. Average values of the internal bond in kgf/cm², related to adhesive content, wood type and association percentage of eucalypt and pine wood to candeia wood.

Porcentagem de madeira (%)		Teor de adesivo ¹	
Eucalipto	Candeia	8%	12%
25	75	5,49 a	7,28 a
50	50	6,22 a	4,87 a
75	25	5,66 b	8,13 a
Pinus		Candeia	
25	75	8%	12%
25	75	6,44 a	7,04 a
50	50	5,14 b	7,29 a
75	25	6,51 a	6,47 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

De acordo com Vital (1974), a ligação interna aumenta, geralmente, com o aumento da densidade dos painéis. Neste caso, ainda que não tenha ocorrido diferença estatística para essa propriedade entre os tratamentos com 50% de *Pinus* associado, observa-se a presença do efeito no aumento da densidade média dos painéis, sob essa condição. Todos os valores médios de ligação interna observados neste trabalho foram superiores ao valor mínimo de referência (4,9 kgf/cm²), estabelecido pela norma americana CS 236- 66.

Flexão estática (MOE e MOE)

Os resultados experimentais do teste de flexão estática, em que as variáveis módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) foram analisadas, indicaram comportamento semelhante entre eles. Houve efeito significati-

vo das porcentagens de substituição por candeia sobre o MOE e MOR. A interação dupla entre as fontes de variação teor de adesivo e porcentagem de substituição foi significativa.

Os resultados da análise de desdobramento indicaram que apenas houve efeito das porcentagens de substituição sobre o módulo de elasticidade e módulo de ruptura, quando se utilizou 12% de adesivo, independente do tipo de madeira utilizada.

Nas Figuras 5 e 6 pode-se observar, para o teste de flexão, que existe relação quadrática entre os módulos de elasticidade e de ruptura, com as porcentagens de madeira utilizadas em associação à candeia. Tanto para o módulo de elasticidade quanto para o módulo de ruptura, houve aumento no valor das variáveis, à medida que se aumentou a porcentagem da madeira associada à candeia, para um teor de adesivo de 12%.

Nas Tabelas 7 e 8, pode-se observar que houve aumento significativo, tanto no módulo de elasticidade quanto no módulo de ruptura, quando foram utilizados 12% de adesivo e 75 % de madeira associada à candeia.

Iwakiri *et al.* (2000) não encontraram diferença significativa para essa fonte de variação, ao estudarem o comportamento dos dois teores de adesivo uréia-formaldeído (8% e 12%) em painéis confeccionados com três diferentes espécies de eucalipto, misturadas e individualizadas, sobre o MOE dos painéis aglomerados. Porém, para o MOR, valores estatisticamente superiores foram observados, para todos os tratamentos, ao ser utilizado maior teor de adesivo.

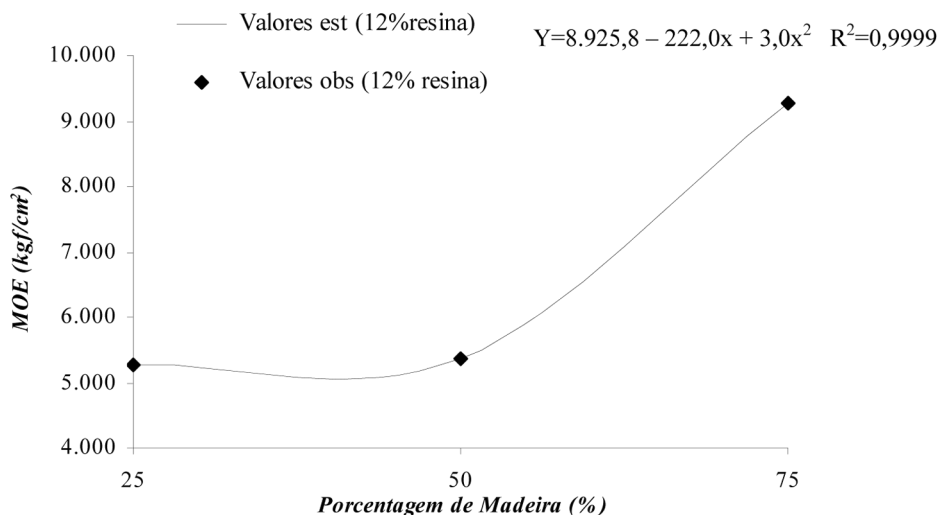


Figura 5. Valores médios (kgf/cm²) do módulo de elasticidade (MOE), em função das porcentagens de madeira associada à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

Figure 5. Average values (kgf/cm²) of the modulus of elasticity (MOE) related to wood percentages associated to candeia using 12% resin content.

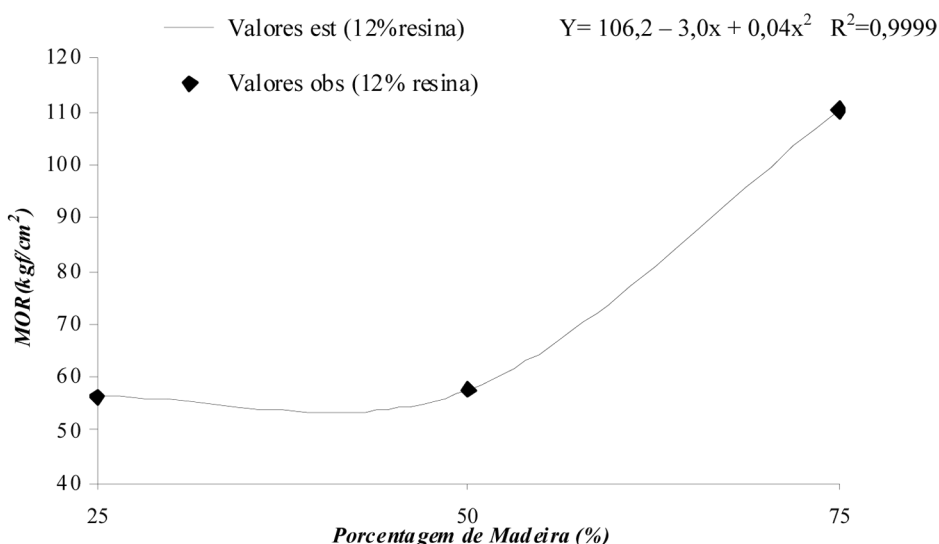


Figura 6. Valores médios (kgf/cm²) do módulo de ruptura (MOR), em função das porcentagens de madeira associadas à candeia, utilizando 12% de teor de adesivo.

Figure 6. Average values (kgf/cm²) of the modulus of rupture (MOR), related to wood percentages associated to candeia using 12% resin content.

Tabela 7. Valores médios de MOE em kgf/cm², em função dos teores de adesivo e porcentagem de madeira associada à candeia.

Table 7. Average values of the MOE in kgf/cm², related to adhesive content and percentage of wood associated to candeia wood.

Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹	
	8%	12%
25%	6.021,9 a	5.258,9 a
50%	6.459,0 a	5.360,9 a
75%	6.286,1 b	9.231,9 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% de significância.

Tabela 8. Valores médios de MOR em kgf/cm², em função dos teores de adesivo e porcentagem de madeira associada à candeia.

Table 8. Average values of the MOR in kgf/cm², related to adhesive content and percentage of wood associated to candeia wood.

Porcentagem de madeira	Teor de adesivo ¹	
	8%	12%
25%	63,25 a	56,21 a
50%	69,20 a	57,59 a
75%	75,78 b	110,32 a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste t de Student, a 5% significância.

Iwakiri *et al.* (2004), estudando o comportamento da madeira de *Grevillea robusta* na confecção de painéis aglomerados com dois teores de adesivo uréia-formaldeído (6% e 8%) e duas densidades diferentes, encontraram resultados que mostraram tendência ao aumento nos valores médios do MOE e do MOR com o incremento no teor de adesivo de 6% para 8%.

Os valores observados neste trabalho foram inferiores ao estabelecido pela norma CS 236-66 para MOE e MOR, com base em chapas de partículas com densidade entre 0,60 e 0,80 g/cm³, que estabelece valor médio mínimo de 24.500kgf/cm² para MOE e de 112 kgf/cm² para MOR.

CONCLUSÕES

Nos tratamentos com 12% de adesivo, a inclusão de 25% do resíduo da madeira de candeia apresentou redução na absorção de água pelas chapas tanto após 2, quanto para 24h após imersão;

A inclusão do resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável quanto à propriedade de IE nas seguintes proporções: 50% de candeia/50% *Pinus*; 75% candeia/25% *Pinus*, para 12% de adesivo;

O aumento do teor de adesivo de 8% para 12% contribuiu para melhorar as propriedades de LI e CP;

A densidade da madeira de candeia, possivelmente, colaborou para uma menor razão de compactação das chapas, quando esta foi utilizada em maiores proporções;

O tipo de madeira e a proporção associada ao resíduo de candeia não influenciaram os valores do MOE e MOR nas chapas;

O aumento na porcentagem de inclusão do resíduo da madeira de candeia proporcionou redução no MOE e MOR;

O resíduo da madeira de candeia, nas proporções estudadas, mostrou-se viável para a confecção de chapas de partículas aglomeradas, em todas as propriedades, exceto para o teste de flexão estática.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particle materials. In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia, 1992. (ASTM D-1037 – 78B).

BITTENCOURT, R.M. Aprendendo a projetar a edificação de madeira: parte 1 - um novo produto da prática arquitetônica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CEFET/MG, 1995. p.171-180.

BNDES - BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Produtos florestais. Área de operações industriais - gerência setorial 1**. Rio de Janeiro, 2000.

BRAGA, E.P. Crescimento mundial das florestas certificadas. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.11, n.64, p.21-47, 2002.

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

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

IWAKIRI, S.; MENDES, L.M.; SALDANHA, K.L.; SANTOS, J.C.I. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p.46-52, 2004.

LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S.; LELIS, R.C.C. Efeito inibidor de cinco espécies florestais sobre a cura do compósito cimento-madeira. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.6, n.1, p.76-82, 1999.

LIMA, A.M.; LIMA, R.M.; BRITO, E.O. Produção de aglomerados a partir de partículas “strand” combinadas com maravalhas. **Revista Universidade Rural, Série Ciências da Vida**, Rio de Janeiro, v.22, (Suplemento), p.175-179, 2002

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim técnico SIF**, Viçosa, n.1, p.1-21, 1984.

Recebido em 25/03/2008

Aceito para publicação em 24/09/2009