

## Manufatura de painéis cimento-madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) de diferentes procedências e idade

Manufacture of cement-bonded particleboard of Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem var. *australis*) of different origins and age

Vânia A. de Sá<sup>1</sup>, Lourival Marin Mendes<sup>2</sup>, Allan Motta Couto<sup>3</sup>, Nerci Nina Lima<sup>4</sup>

### Resumo

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de produção de painéis cimento-madeira com resíduos da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*) de quatro locais de crescimento aos 4 anos e aos 18 anos de idade. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e quatro tratamentos, totalizando 12 painéis. Os painéis foram confeccionados com densidade nominal de 1,10 g/cm<sup>3</sup> e de acordo com o seguinte ciclo de prensagem: tempo de prensagem de 10 minutos, pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> e consolidados à temperatura ambiente. Os resultados das propriedades físico-mecânicas indicaram grande potencial de utilização da madeira de *Toona ciliata* na manufatura de painéis cimento-madeira, independentes do local de coleta e da idade das árvores.

**Palavras-chave:** Resíduos florestais, chapas minerais, painéis estruturais

### Abstract

The aim of this work was to evaluate the technical feasibility of manufacturing cement-bonded particleboard made from australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem.) of four distinct growth sites. The experimental design of the experiment was a completely randomized design with three replications and four treatments, totaling of 12 panels. The panels were made with nominal density 1.10 g/cm<sup>3</sup> and in accordance with the following cycle of pressing: pressing time of 10 minutes, specific pressure of 40 kgf/cm<sup>2</sup> and consolidated at ambient temperature. The results of the physical and mechanical properties indicated great potential for using wood of *Toona ciliata* in the manufacture of wood-cement panels, independent of the collection site and age of the trees.

**Keywords:** Forestry waste, mineral boards, structural panel

### INTRODUÇÃO

A fabricação de produtos a base de materiais lignocelulósicos, além de permitir melhor aproveitamento da madeira, apresenta certas vantagens em relação a outros materiais por serem renováveis, recicláveis e biodegradáveis (ELEOTÉRIO, 2000). Além do mais, na confecção de produtos reconstituídos de madeira é possível agregar valor a materiais de baixa aceitação como madeiras de desbastes e resíduos do processamento madeireiro.

Os painéis cimento-madeira são constituídos por partículas ou fibras de biomassa vege-

tal (agregado), cimento (aglomerante mineral), aditivo químico e água, sendo estes consolidados sob pressão a temperatura ambiente. Os aditivos químicos e minerais são aplicados com objetivo de acelerar a cura do cimento. Os principais tipos de aditivos químicos empregados são o cloreto de cálcio, silicato de sódio e hidróxido de sódio, em quantidades que podem variar de 3% a 5% em relação ao peso do cimento (LATORRACA, 2000).

Os painéis cimento-madeira são produtos de boa aceitação e de grande aplicabilidade na construção civil, principalmente nos países da Europa e da Ásia, por serem bons isolantes tér-

<sup>1</sup>Engenheira Florestal e mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira – Universidade Federal de Lavras – E-mail: [vania\\_desa@yahoo.com.br](mailto:vania_desa@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 – E-mail: [lourival@ufla.br](mailto:lourival@ufla.br)

<sup>3</sup>Engenheiro Florestal e mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira – Universidade Federal de Lavras – E-mail: [allan\\_floresta@yahoo.com.br](mailto:allan_floresta@yahoo.com.br)

<sup>4</sup>Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira – Universidade Federal de Lavras – E-mail: [nlima@ufam.edu.br](mailto:nlima@ufam.edu.br)

micos e acústicos, virtualmente incombustíveis, resistentes ao ataque de agentes biodegradadores, apresentam alta estabilidade dimensional e são de fácil trabalhabilidade (LATORRACA; IWAKIRI, 2001)

A principal limitação na produção dos compósitos cimento-madeira é a incompatibilidade química entre algumas espécies de madeira e o aglomerante mineral, devido à presença de substâncias químicas, como: compostos fenólicos, ácidos e açúcares, que retardam ou inibem a cura e o endurecimento do cimento, podendo prejudicar as propriedades finais dos painéis (LATORRACA; IWAKIRI, 2000; MORI *et al.*, 2007).

Para viabilizar o uso de espécies com altos teores de extrativos, normalmente se tem empregado o tratamento das partículas. Entre eles, inclui-se a extração das substâncias químicas inibidoras (tais como: extrativos solúveis em água ou álcali, carboidratos livres, etc.), através da imersão das partículas em água fria por 24 horas, imersão em água quente por 6 horas e imersão em solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 1% (MOSLEMI *et al.*, 1983; SAVASTANO JÚNIOR *et al.*, 2000). Segundo Beraldo *et al.* (2002), o problema relacionado ao tempo de pega do cimento pode ser minimizado com a aplicação de aditivos químicos e minerais aceleradores da cura.

Okino *et al.* (2004) avaliaram os efeitos de inibição da cura das chapas confeccionadas a partir da madeira de *Hevea brasiliensis*, através de teste de hidratação das partículas com e sem fervura em água quente e com ou sem adição de  $\text{CaCl}_2$ , sobre as propriedades dos painéis cimento-madeira. Os resultados obtidos indicaram que a madeira de seringueira in natura foi classificada como de "inibição extrema", porém com a adição de  $\text{CaCl}_2$  foi classificada como de "baixa inibição". Iwakiri e Prata (2008), avaliando o efeito do tratamento das partículas de *Eucalyptus* sp. em água fria e em água quente sobre as propriedades dos painéis cimento-madeira, concluíram que não há necessidade de tratamento tanto para madeira de *E. grandis* quanto para *E. dunnii*.

Outras características inerentes a madeira que influenciam a confecção de painéis particulados são a densidade e a idade. A densidade da madeira deve ser de média a baixa, para assegurar a razão de compactação da chapa dentro de níveis adequados para a densificação e consolidação do material, garantindo melhores propriedades de resistência aos painéis (IWAKIRI,

2005). Quanto à idade, a madeira juvenil possui contração e inchamento mais elevados ao longo da grã. Apresenta uma variação das propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas, se comparadas às madeiras adultas, caracterizando assim, uma madeira de qualidade inferior.

No contexto industrial, as madeiras de coníferas são as mais empregadas como matéria-prima por apresentarem propriedades químicas compatíveis com os aglomerantes minerais, viabilizando a manufatura dos painéis sem provocar inibição da cura do aglomerante utilizado (LATORRACA e IWAKIRI, 2001; SILVA *et al.*, 2005).

O aumento da demanda por produtos de madeira gera preocupações quanto ao abastecimento futuro, logo as indústrias do setor florestal brasileiro têm procurado por espécies alternativas que possam suprir a possível falta de matérias-primas comumente utilizadas, como as espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Diante deste cenário, o cedro australiano (*Toona ciliata* var. *australis*) se mostra como alternativa promissora devido às altas taxas de crescimento e boa adaptabilidade às condições edafoclimáticas das regiões sudeste e sul da Bahia, no qual pode ser estimado um incremento médio anual entre 20 e 30  $\text{m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  (MURAKAMI, 2008).

A madeira de cedro australiano por ser considerada de alta qualidade deve ser destinada preferencialmente a produtos de alto valor agregado, como por exemplo, móveis finos e instrumentos musicais. A madeira destinada a estes fins passam por processamentos mecânicos com geração de grandes quantidades de resíduos, como aparas, costaneiras, serragem e outros.

Outro aspecto a ser considerado é o destino da madeira oriunda de desbastes pré-comerciais, que são necessários aos quatro anos e aos oito anos em plantios desta espécie, que devido a pequenas dimensões, são inviáveis ao processamento primário e que poderiam ser utilizados como matéria-prima para painéis a base de madeira.

Uma das principais vantagens agregadas ao painel cimento-madeira é a utilização de resíduos florestais e do processamento madeireiro, além de madeiras de pequenos diâmetros inapropriadas a fins mais nobres. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de manufatura de painéis cimento-madeira a partir do aproveitamento de resíduos, provenientes do processamento primário (desdobro e laminação), da madeira de cedro australiano de quatro locais de crescimento aos 4 anos e aos 18 anos de idade.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Matérias-primas utilizadas

Para o presente estudo foram utilizadas madeiras de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*), com idades de 4 e 18 anos. A madeira de quatro anos de idade foram provenientes de três municípios localizados no estado de Minas Gerais, a saber: Campo Belo, Cana Verde e Santo Antônio do Amparo. A madeira de 18 anos de idade foi proveniente do município de Marechal Floriano localizado no estado do Espírito Santo. Esta madeira foi utilizada como testemunha (padrão) no estudo.

Para cada localidade foram selecionadas e abatidas 5 árvores, em seguida as mesmas foram seccionadas e retirados discos de 4 cm de espessura na base e a cada 1,30 m de comprimento ao longo de sua extensão até a altura comercial para determinação da densidade básica. A primeira tora de 1,30 m de comprimento de cada fuste foi conduzida ao processo de laminação. As outras toras subsequentes foram reduzidas em peças de 1,30 m de comprimento.

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água descrita por Vital (1984).

Os resultados da densidade básica e os diâmetros médios, a 1,30 m do solo, das árvores de cada região estão apresentados na Tabela 1.

O aglomerante empregado na confecção dos painéis foi de origem hidráulica, designado comumente como cimento Portland CP V – ARI/Plus de alta resistência inicial, segundo a Norma Brasileira NBR 5733 (1991). Como aditivo químico acelerador da cura do cimento foi utilizado o cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ).

### Preparação das partículas

As pontas das toras até a altura comercial, os resíduos provenientes da laminação (perdas do arredondamento e o rolo resto), e os resíduos provenientes do desdobro (costaneiras) foram transformados em partículas do tipo “sliver” em um moinho de martelos, com dimensões nominais de 20,0 x 1,5 x 1,0 mm de comprimento, largura e espessura, respectivamente.

As partículas foram submetidas a um tratamento de imersão em água fria por 24 horas, para remoção dos extrativos solúveis em água que inibem a cura do cimento. Após o processo de drenagem e lavagem, as partículas foram secadas ao ar, até atingir um teor de umidade médio de 12%, e classificadas em peneira vibratória de 0,6 mm abertura para retiradas de finos.

### Confecção dos painéis

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, sendo avaliadas quatro localidades, onde o município de Marechal Floriano foi considerado o tratamento padrão. Foram confeccionados três painéis com dimensões de 480 x 480 x 15 mm por cada local de coleta, totalizando em 12 painéis.

Para a manufatura das chapas, seguiu-se a metodologia sugerida por Souza (1994), para o cálculo dos componentes (madeira, cimento, água e aditivo). Para a definição da proporção dos componentes na mistura foram consideradas as seguintes relações: madeira/cimento 1:2,75; água/cimento 1:2,5; taxa de água de hidratação/cimento 0,25:4% de cloreto de cálcio como aditivo. Todas estas proporções foram determinadas com base no peso seco do cimento. Os cálculos foram realizados para uma densidade nominal dos painéis de 1,10 g/cm<sup>3</sup>.

Os componentes, equivalentes a três painéis por tratamento, foram pesados e misturados numa betoneira de eixo inclinado para a formação da massa homogênea. O colchão foi formado por deposição da massa em caixa formadora com dimensões de 48 x 48 cm, colocada sobre uma chapa de alumínio, previamente untadas com óleo diesel para facilitar a retirada após prensagem. Para controle da espessura final dos painéis, foram utilizados espaçadores de ferro de 15 mm de espessura. Após a distribuição do material, colocou-se outra chapa na face superior do colchão e, em seguida, repetiu-se o procedimento até completar três painéis por tratamento.

Os painéis foram prensados a temperatura ambiente, com pressão específica de 40 kgf/cm<sup>2</sup> durante 10 minutos. A pressão foi mantida até os colchões atingirem a espessura dos

**Tabela 1.** Descrição das árvores selecionadas.

**Table 1.** Description of the selected trees.

Localização	Idade (anos)	Diâmetro médio (cm)	Densidade Básica (g/cm <sup>3</sup> )
Campo Belo	4	19,09	0,310
Cana Verde	4	16,55	0,320
Santo Antônio do Amparo	4	16,82	0,285
Marechal Floriano	18	35,63	0,324

separadores e, posteriormente, efetivou-se o grampeamento e liberação da prensa. Os painéis permaneceram grampeados sob condições naturais de umidade e temperatura durante 24 horas, permitindo que as reações de endurecimento ocorram de modo a garantir a espessura final desejada. O sistema de grampeamento está ilustrado na Figura 1.

Decorrido às 24 horas, os grampos foram retirados e as chapas acondicionadas em câmara climática por um período de 28 dias à temperatura de  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $(65 \pm 3)\%$ .

Após o processo de maturação e climatização, os painéis foram encaminhados para retirada dos corpos-de-prova para ensaios de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após 24 horas de imersão em água, densidade aparente dos painéis, flexão estática para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), compressão paralela (CP) e ligação interna (LI). Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis adotaram-se os procedimentos recomendados pelas Normas ASTM D-1037 (1999) e DIN 52362 (1982).

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos painéis foram submetidos à análise de variância a 5% de significância para avaliar o efeito das procedências.

Para o estudo da variação das propriedades físico-mecânicas dos painéis dentro de cada localidade aos 4 anos de idade foi realizado o teste de Tukey, a um nível de 5% de significância. Já o estudo da variação da idade, no qual foram comparados os valores médios de cada

município de Minas Gerais com o padrão Marechal Floriano, foi realizado o teste de Dunnett, a um nível de 5% de significância (BANZATTO; KRONKA, 2006).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Propriedades físicas

#### Densidade dos painéis

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios da densidade aparente dos painéis cimento-madeira de cedro australiano, estabilizados em câmara climática à temperatura de  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  e  $(65 \pm 3)\%$  de umidade relativa.

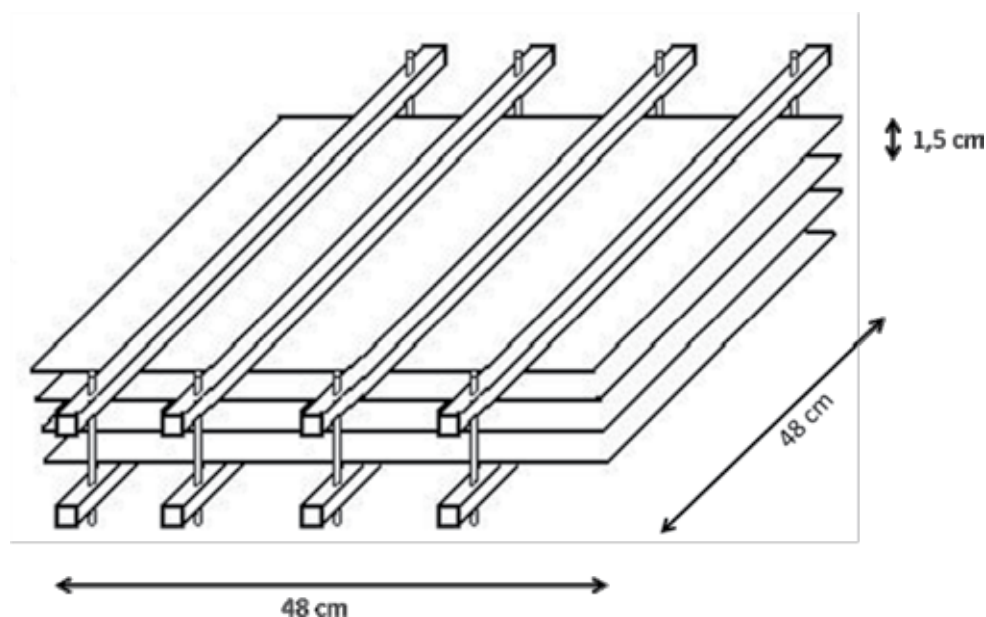
**Tabela 2.** Valores médios de densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) dos painéis.

**Table 2.** Average values of density of the cement-bonded particleboard ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Localização	Densidade aparente, $\text{g}/\text{cm}^3$	CV, %
Campo Belo <sup>1</sup>	1,14 Aa	2,0
Cana Verde <sup>1</sup>	1,24 Aa	2,9
Santo Antônio do Amparo <sup>1</sup>	1,16 Aa	6,0
Marechal Floriano <sup>2</sup>	1,16 a	2,3
Média geral	1,17	--
F calculado	3,813 <sup>ns</sup>	--

e<sup>1</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 4 anos de idade; e<sup>2</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 18 anos de idade (padrão). Médias seguidas de mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett ( $P \leq 0,05$ ). e<sup>ns</sup>: valor não significativo pelo teste F ( $P \leq 0,05$ ). CV: Coeficiente de variação.

Para densidade aparente dos painéis foi verificado que o efeito de localidade foi não significativo a 95% de probabilidade, indicando uma homogeneidade entre os tratamentos. Portanto, foi observado que os valores obtidos foram su-



**Figura 1.** Esquema de grampeamento dos painéis cimento-madeira.  
**Figure 1.** System of clasps of the cement-bonded particleboard.

periores ao proposto pelo trabalho, de 1,10 g/cm<sup>3</sup>. Possivelmente, essa variação ocorreu devido a alguns erros nos cálculos dos componentes dos painéis, no qual foi estipulado uma porcentagem de perdas de 10%.

De acordo com análise de variância, as médias foram consideradas estatisticamente iguais, independentes da idade e da localidade. A homogeneidade entre as densidades foi obtida a partir do controle em laboratório do processo de deposição das partículas e da formação do colchão durante a confecção dos painéis.

Os valores médios de absorção de água (AA) e de inchamento em espessura (IE), após 2 horas e 24 horas de imersão, e os testes de comparação múltipla estão apresentados na Tabela 3.

A análise de variância indicou que o efeito de localidade foi significativo para a absorção de água (AA) e para o inchamento em espessura (IE), após 2 horas de imersão. Porém, para a absorção de água e para o inchamento em espessura, após 24 horas de imersão, não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, independentes do local de crescimento e da idade.

A absorção de água, após 2 horas de imersão, dos painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo obteve média estatisticamente inferior às de Cana Verde e Santo Antônio do Amparo, porém estas localidades não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação ao padrão Marechal Floriano, mostrando que a idade não influenciou essa propriedade.

Os valores para absorção de água após 2 e 24 horas de imersão observados nesse estudo estão compatíveis ou abaixo de alguns resultados apresentados na literatura para painéis confec-

cionados com madeiras mais comumente empregadas. Iwakiri e Prata (2008) encontraram para absorção de água após 24 horas um valor médio de 14,05% em chapas cimento-madeira de *Pinus taeda*. Latorraca (2000), estudando a influência de quatro espécies de eucalipto, encontrou, para a mesma propriedade, valores médios entre 15,69% e 22,22%.

O inchamento em espessura (IE), após 2 horas de imersão em água, dos painéis produzidos com madeira de quatro anos de idade não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre localidades. Já na comparação entre idades, observa-se que as médias dos painéis produzidos com madeiras das localidades de Campo Belo e Santo Antônio do Amparo foram estatisticamente inferiores à Marechal Floriano, sendo este último representado pelo maior valor absoluto, que foi de 0,97%.

Os valores encontrados nesse estudo para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água são inferiores à faixa mínima admitida pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978), que é de 0,80% e entre 1,2 a 1,8 %, respectivamente, para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água.

Comercialmente, os painéis cimento-madeira apresentam valores de 1,0% e entre 1,50% a 1,80%, respectivamente, para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água (VIROC, 2004). Sobre valores obtidos na literatura, Silva *et al.* (2005) encontraram para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão valores médios entre 0,68% a 1,25% e 1,20% a 5,54%, respectivamente, em compostos de madeira de *Eucalyptus urophylla*, com ou sem inclusão de casca.

**Tabela 3.** Valores médios das propriedades físicas dos painéis.

**Table 3.** Average values of physical properties of the cement-bonded particleboard.

Localização	AA		IE	
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
	%			
Campo Belo <sup>1</sup>	6,37 Ba (6,3%) <sup>e3</sup>	12,8 Aa (4,1%)	0,37 Ab (17,8%)	0,77 Aa (3,0%)
Cana Verde <sup>1</sup>	10,50 Aa (12,5%)	14,40 Aa (8,7%)	0,47 Aa (38,5%)	0,78 Aa (43,7%)
Santo Antônio do Amparo <sup>1</sup>	10,33 Aa (2,2%)	14,47 Aa (2,62)	0,35 Ab (5,4%)	0,34 Aa (23,4%)
Marechal Floriano <sup>2</sup>	9,20 a (24,5%)	14,30 a (16,4%)	0,97 a (42,6%)	0,73 a (5,5%)
Média geral	9,1	13,99	0,54	0,66
F calculado	6,249*	1,02 <sup>ns</sup>	4,91*	3,636 <sup>ns</sup>

e<sup>1</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 4 anos de idade; e<sup>2</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 18 anos de idade (padrão). Médias seguidas de mesma maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett (P ≤ 0,05). e\*: valor significativo pelo teste F (P ≤ 0,05). e<sup>ns</sup>: valor não significativo pelo teste F (P ≤ 0,05). e<sup>3</sup>: Coeficiente de variação.

Uma das propriedades que mais caracterizam os painéis cimento-madeira e os tornam diferentes de outros tipos de painéis reconstituídos de madeira é a sua alta estabilidade dimensional, podendo ser empregados em ambientes com grande variação de umidade.

### Propriedades mecânicas

Os valores médios de módulo de elasticidade à flexão (MOE) e o módulo de ruptura (MOR), compressão paralela (CP), ligação interna (LI) e os testes de comparação múltipla estão apresentados na Tabela 4.

Para módulo de elasticidade (MOE), obtido no ensaio de flexão estática, o efeito de localidade foi não significativo a 95% de probabilidade. Entretanto, os valores médios encontrados foram satisfatórios, no qual foram superiores aos comumente encontrados na literatura para outras espécies e ao valor mínimo exigido pela Bison Wood-Cement Board (1978), que é 2.942,0 MPa. Latorraca e Iwakiri (2000) obtiveram valores para MOE variando entre 1.488,3 MPa e 4.315,4 MPa, para painéis de *Eucalyptus dunnii* com densidade nominal de 1,2 g/cm<sup>3</sup>.

Para o módulo de ruptura (MOR), também obtido no ensaio de flexão estática, o efeito de localidade foi significativo a 95% de probabilidade. Pode-se verificar que entre os painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo apresentou média estatisticamente superior às de Cana Verde e Santo Antônio do Amparo. Já a comparação entre as madeiras de 4 anos de idades e o padrão de 18 anos, somente Campo Belo não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação a Marechal Floriano, pelo Teste de Dunnett à 5% de significância.

Para o MOR, somente os valores obtidos pelas localidades de Campo Belo e Marechal Floriano foram superiores ao valor mínimo estabelecido pela Bison Wood-cement Board (1978), que está em torno de 8,8 MPa. Porém, os valores encontrados foram compatíveis ou superiores aos encontrados na literatura para outras espécies. Latorraca (2000), estudando as propriedades de painéis confeccionados com diferentes espécies de eucalipto obteve valores variando de 3,5 a 6,8 MPa. Matosk (2005), obteve para esta propriedades valores variando entre 5,0 MPa e 5,9 MPa em painéis cimento-madeira confeccionados com resíduos de *Pinus* e adição de CaCl<sub>2</sub> como aditivo químico.

Pela análise de variância, a compressão paralela (CP) sofreu efeito significativo de local a 95% de probabilidade. Verifica-se também que para os painéis produzidos com madeira de 4 anos de idade, a localidade de Campo Belo apresentou valor estatisticamente superior à Santo Antônio do Amparo, porém estas não apresentaram diferenças estatísticas significativas em relação a Cana Verde. Na comparação entre idades, observa-se que somente a localidade de Campo Belo não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação à Marechal Floriano.

Os valores de CP obtidos neste estudo foram compatíveis com a literatura. Latorraca (2000), avaliando as propriedades de painéis cimento-madeira confeccionados com quatro espécies de eucalipto, encontrou valor médio de 6,56 MPa para resistência a compressão paralela. Beraldo e Carvalho (2001) encontraram para resistência a compressão um valor médio de 7,25 MPa em painéis produzidos com madeira da base das toras de *Eucalyptus grandis*, aos cinco anos.

**Tabela 4.** Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis.

**Table 4.** Average values of mechanical properties of the cement-bonded particleboard.

Localização	Flexão estática		CP	LI
	MOE	MOR		
MPa				
Campo Belo <sup>1</sup>	4486,53 Aa (3,1%) <sup>3</sup>	11,00 Aa (4,1%)	10,43 Aa (5,3%)	1,15 Aa (10,6%)
Cana Verde <sup>1</sup>	4270,61 Aa (12,6%)	6,36 Bb (10,1%)	8,64 ABb (6,0%)	0,97 Aa (7,9%)
Santo Antônio do Amparo <sup>1</sup>	4308,72 Aa (10,2%)	6,50 Bb (6,5%)	6,28 Bb (14,8%)	0,94 Aa (1,9%)
Marechal Floriano <sup>2</sup>	4696,56 a (8,4%)	9,19 a (2,8%)	11,42 a (14,8%)	0,99 a (9,2%)
Média geral	4440,60	8,26	9,19	1,01
F calculado	0,688 <sup>ns</sup>	70,5*	14,23*	3,78 <sup>ns</sup>

e<sup>1</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 4 anos de idade; e<sup>2</sup>: Madeira de *T. ciliata* com 18 anos de idade (padrão). Médias seguidas de mesma maiúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (P ≤ 0,05). Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Dunnett (P ≤ 0,05). e\*: valor significativo pelo teste F (P ≤ 0,05). e<sup>ns</sup>: valor não significativo pelo teste F (P ≤ 0,05).

Quanto à LI, observa-se que o efeito de local foi não significativo, a 95% de probabilidade, indicando que esta propriedade não foi influenciada pela localidade nem pela idade.

Os painéis apresentaram alta resistência à LI, visto que os resultados encontrados foram superiores aos encontrados na literatura para outras espécies estudadas e aos valores mínimos requerido pela Bison Wood-cement Board (1978), que é de 0,39 MPa. Silva *et al.* (2005), estudando painéis cimento-madeira com e sem inclusão de casca de *Eucalyptus urophylla* encontraram valores entre 0,33 MPa e 0,68 MPa. Iwakiri e Prata (2008), estudando madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira, encontraram valores variando de 0,28 MPa a 0,47 MPa.

Provavelmente, a baixa densidade das madeiras avaliadas tenha contribuído positivamente no aumento da resistência dos painéis cimento-madeira. De modo geral, madeiras menos densas possibilitam maior taxa de compressão em chapas de partículas de média densidade, de forma a promover suficiente área de contato entre as partículas durante a prensagem formando uma ligação forte e contribuindo para elevação das propriedades de resistência dos painéis.

## CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo foram satisfatórios e indica a viabilidade técnica de uso da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata*) como matéria-prima na confecção de painéis cimento-madeira de boa qualidade, independentemente da localidade e da idade.

No geral, as avaliações das propriedades físico-mecânicas dos painéis cimento-madeira de Cedro australiano foram compatíveis ou superiores em comparação aos valores referenciais da literatura para outras espécies e ao processo Bison.

A incorporação de madeira de cedro australiano com quatro anos de idade oriundas de desbastes na produção comercial de painéis cimento-madeira seria uma alternativa economicamente viável por agregar maior valor ao produto final em relação às técnicas de aproveitamento comumente utilizadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733 -Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1037 – Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia, 1999.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. Experimentação agrícola. 4ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006, 237 p.

BERALDO, A.L.; ARRUDA, A.C.; STANCATO, A.C.; SAMPAIO, C.A.P.; FERNANDES FILHO, O.P.; LEONEL, V.M. Compósitos à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: EBRAMEM, 2002. p.120-126.

BERALDO, A.L.; CARVALHO, J.V. *Eucalyptus grandis* wood-Portland cement particleboard. *Agribuilding*, 2001, p.3-6.

BISON WOOD-CEMENT BOARD, Bison – Report 1978. p.10.

DIN - NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. DIN 52362 – Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Germany, 1982. p.39-40

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 2000. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; PRATA, J.G. Utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* na produção de painéis cimento-madeira. *Cerne*, Lavras, v.14, n.1, p.68-74, 2008.

LATORRACA, J.V.F. *Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento madeira. 2000. 191p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S. Efeito da cura a vapor sobre as propriedades mecânicas de painéis de cimento-madeira. *Floresta e ambiente*, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 84-93, 2001.

- LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunnii* (maid), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis de madeira-cimento. *Cerne*, Lavras, v.6, n.1, p.68-76, 2000.
- MATOSK, A. **Utilização de pó de madeira com granulometria controlada na produção de painéis de cimento-madeira**. 2005. 202 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- MORI, F.A.; LOPES, Y.L.V.; MENDES, L.M.; LATORRACA, J.V.F. Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de *Eucalyptus grandis* e cimento Portland. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.17, n.3, p.257-264, 2007.
- MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F.; HOFSTRAND, A.D. Effect of various treatments and additives on wood-portland cementwater systems. *Wood and Fiber Science*, Madison, v.15, n.2, p.164-176, 1983.
- MURAKAMI, C.H.G. Cedro australiano: valorização de espécies nobres. *Boletim Florestal*, São Paulo, v.7, n.2, p.1-6, fev. 2008.
- OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Chapa aglomerada de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis* müll. *Revista Árvore*, Viçosa, v.28, n.3, p.451-457, 2004.
- SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P.G.; COUTTS, R.S.P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, Barking, v.22, n.25, p.379-384, 2000.
- SILVA, G.C.; LATORRACA, J.V.F.; TEIXEIRA, D.E.; BORBOLETO JÚNIOR, G. Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n.68, p.59-67, 2005.
- SOUZA, M.R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 p. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Idaho, Idaho, 1994.
- VIROC. **Características Viroc**. 2004. Disponível em: <<http://www.viroc.pt>> Acesso em: 23 jul. 2009.
- VITAL, B.R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

Recebido em 12/09/2009

Aceito para publicação em 30/07/2010