

## Avaliação do potencial técnico da madeira e cascas de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na produção de painéis cimento-madeira

### Evaluation of the technical viability of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood and barks in the production of cement-bonded particleboard

Yustane Lerissa Veiga Lopes  
Fábio Akira Mori  
Lourival Marin Mendes  
João Vicente de Figueiredo Latorraca  
Paulo Fernando Trugilho  
Gilmar Correia Silva

---

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica da utilização da madeira e cascas (sem e com tratamento químico) de *Eucalyptus grandis* na produção de painéis cimento-madeira. Utilizaram-se sete tratamentos com diferentes percentagens de madeira e cascas na produção dos painéis. O tratamento somente com madeira de *Eucalyptus* apresentou bons resultados para todas as propriedades avaliadas, sendo superiores ao normalmente encontrado na literatura. Os tratamentos com incorporação das cascas tratadas quimicamente apresentaram também bons resultados nas propriedades avaliadas, indicando o efeito do tratamento químico na qualidade do painel. Os tratamentos incluindo cascas não tratadas apresentaram resultados insatisfatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Madeira, Casca, *Eucalyptus grandis*, Propriedades físico-mecânicas, Painéis cimento-madeira

**ABSTRACT:** The objective of the work was to evaluate the technical viability of utilizing wood and barks (without and with chemical treatment) of *Eucalyptus grandis* in the production of cement-bonded particleboards. It was used seven treatments with different percentages of wood and barks for the production of the cement-bonded particleboards. The treatment solely with *Eucalyptus* wood particles showed good results to all properties evaluated and higher than those normally found in the literature. The treatments with incorporation of the chemically treated barks showed also good results in the evaluated properties indicating the effect of the chemical treatment in the quality of the particleboards. The treatment with untreated barks presented unsatisfactory results.

**KEYWORDS:** Wood, Bark, *Eucalyptus grandis*, Physical-mechanical properties, Cement-bonded particleboard

---

## INTRODUÇÃO

Os painéis de cimento-madeira são uma mistura de partículas de madeira, aglutinante mineral, água e aditivos químicos, consolidados através de prensagem a frio (Okino et al., 2003).

A utilização deste tipo de painel não é recente, estando no mercado por mais de 70 anos. Atualmente, são utilizados em muitos países por causa de suas características vantajosas sobre outros painéis (Moslemi e Pfister, 1987), tais como: alta

durabilidade, trabalhabilidade similar aos produtos de madeira, bom comportamento no emprego de pregos e parafusos, alta resistência ao fogo, resistência a mudanças drásticas de temperatura, alta resistência à umidade, alta resistência a fungos e insetos, não contém formaldeído, são adequados a aplicações externas e internas, boa aceitação de tratamentos superficiais com verniz, laminas, pinturas etc (Eltomation, 2003). Devido

a essas características são bastante utilizados na construção civil. Esses painéis possuem uma longa história de aplicação no setor de construção civil na Europa e Ásia (Watai, 1996), utilizados como paredes, pisos, forros, muros etc (Okino et al., 2003).

A tecnologia de produção dos painéis de cimento-madeira é muito similar ao processo de produção de aglomerados com resina sintética, podendo ser empregados equipamentos comumente utilizados na produção de painéis de madeira aglomerada (Simatupang et al., 1995).

As dificuldades na produção destes painéis são o elevado peso, a lenta velocidade de cura dos painéis e principalmente a seleção de espécies adequadas para a produção. Vários estudos têm mostrado que a capacidade de cura do cimento na presença de materiais lignocelulósicos é determinada pela composição química dos mesmos e o cimento não reage igualmente bem com todas as espécies de materiais (Moslemi e Pfister, 1987).

Os grandes responsáveis pelas diferenças nas reações com o cimento, são os açúcares e os extrativos solúveis em água ou álcali. Estes extrativos tendem a prolongar o tempo de pega do cimento (Hofstrand et al., 1984)

Mas esse efeito pode ser evitado ou minimizado com o tratamento das partículas do material lignocelulósico, a utilização de um tipo mais adequado ou menos sensível de aglomerante à combinação com o material lignocelulósico ou a utilização de aditivos químicos e minerais aceleradores da “pega” do cimento (Beraldo et al., 2002).

As essências florestais são, geralmente, as mais utilizadas nas indústrias de painéis de madeira, dentre elas, as coníferas por apresentarem menores limitações quanto à cura do cimento, mas, podendo também, serem utilizados resíduos vegetais, tais como, casca do coco, bagaço da cana-de-açúcar, casca de arroz etc. (Chittenden et al., 1975 citado por Latorraca, 2000).

A produção de painéis cimento-madeira com o gênero *Eucalyptus*, apesar de ser um dos mais promissores em termos de utilização comercial, existe apenas na África do Sul. Algumas pesquisas científicas em nível laboratorial estão sendo realizadas para verificar o potencial do gênero na manufatura destes painéis.

O Estado de Minas Gerais apresenta grande área reflorestada com o gênero *Eucalyptus*, aproximadamente 1,52 milhões de ha (SBS, 2001), com destaque para a espécie *Eucalyptus grandis*. O aproveitamento do *Eucalyptus* como madeira

serrada torna-se promissor e as empresas investem no seu aproveitamento tecnológico para esta finalidade. No entanto, aumenta-se também o volume de resíduos gerados, costaneiras, serragem e cascas, trazendo problemas de descarte de ordem ambiental e econômica. Uma alternativa para uso desses resíduos poderia ser a produção de painéis de cimento-madeira.

O uso de cascas de essências florestais, geralmente não é aconselhável nos concretos e sendo assim, também nos painéis de cimento-madeira, pois possuem altos teores de matéria orgânica que podem interferir nas reações de hidratação do cimento (Neville, 1982). Geralmente, a presença de cascas reduz a compatibilidade do cimento. Porém, milhares de toneladas de cascas são produzidas anualmente pelas indústrias que consomem madeiras de eucaliptos, sendo assim, a possibilidade de uma alternativa de uso para essas cascas pode ser vantajosa.

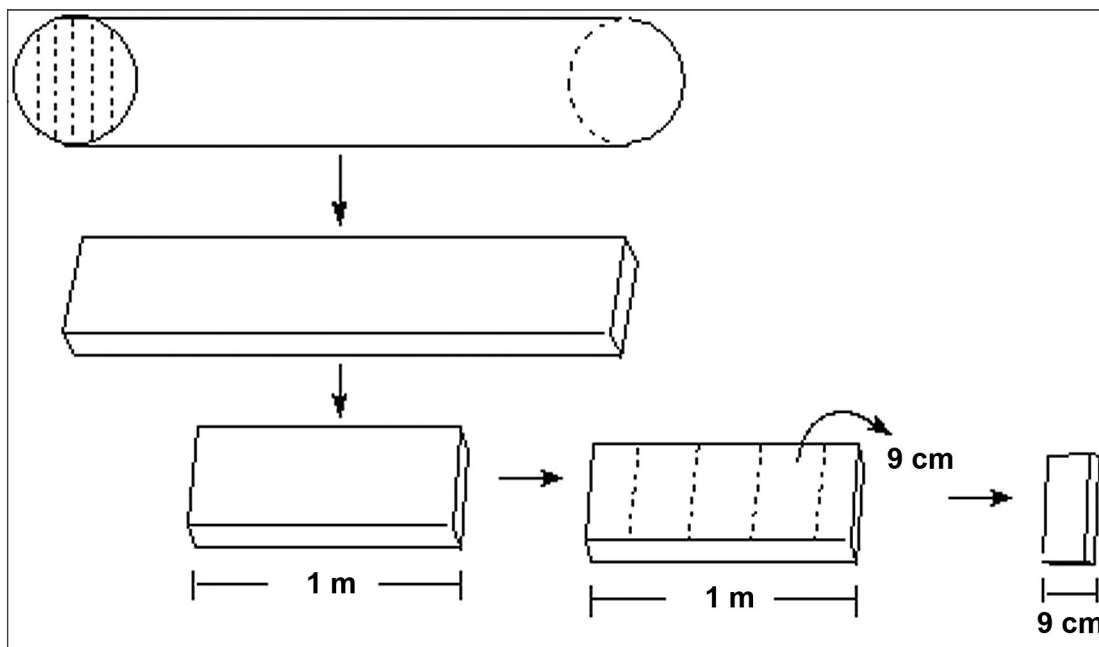
Sob esse contexto, os objetivos deste trabalho foram avaliar o potencial de utilização da madeira de *Eucalyptus grandis* e a viabilidade técnica de utilização das cascas desta espécie tratadas e não tratadas quimicamente, em diferentes porcentagens, em substituição à madeira na produção de painéis cimento-madeira determinando-se as suas propriedades físicas e mecânicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizadas oito árvores de *Eucalyptus grandis* provenientes do Campus da Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, MG, com idade de nove anos. A classe diamétrica das árvores estava na faixa entre 14 a 22 cm e altura total entre 18 a 24,5 m.

### Obtenção das partículas de madeira e cascas

As árvores foram derrubadas e conduzidas para a serraria do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG e desdobradas tangencialmente gerando tábuas de 2 cm de espessura, comprimento e largura de acordo com o diâmetro das toras. Em seguida, as tábuas foram seccionadas de um em um metro e confeccionadas pequenas peças de 9 cm de largura com auxílio de uma serra de fita no Laboratório de Usinagem do Departamento de Ciências Florestais da UFLA. A Figura 1 ilustra a confecção destas peças.



**Figura 1**

Esquema de confecção das peças para a geração das partículas (Project of confection of the parts for the generation of particles)

Parte destas peças foi reservada para determinar a massa específica aparente - MEA - da madeira. O restante das peças foi armazenado em tanque com água para amolecimento da madeira e facilitar a geração das partículas.

As partículas foram geradas em um gerador de partículas conforme a Figura 2 com as seguintes dimensões nominais: 9 cm de comprimento, 2 cm de largura e espessura em torno de 0,04 cm. Essas partículas foram secas ao ar livre, moídas em moinho martelo e passadas em peneira de 0,5 cm de abertura.

As cascas foram obtidas a partir das costaneiras e laterais das tábuas após o processamento das toras, e em seguida picadas com auxílio de facão e secas ao ar livre durante duas semanas. Em seguida foram moídas em moinho martelo e peneiradas com peneira de 1 cm de abertura.

### **Tratamento químico das cascas**

Aproximadamente cerca de 30 Kg das cascas moídas receberam tratamento utilizando água e hidróxido de sódio para a retirada dos componentes secundários (extrativos).



**Figura 2**

Geração das partículas de madeira (Generation of wood particles)

As cascas foram colocadas em recipientes de 50 l com a adição de água até a completa saturação, deixando-se um volume de água acima destas, durante dois dias, agitando-se periodicamente. Após isso, a água foi retirada e as cascas lavadas com água corrente e retornadas aos recipientes acrescentando novamente água, em torno de 14 l, mais hidróxido de sódio 1% p/v, deixando-se por mais 48 horas. Após esse período novamente prosseguiu a lavagem e a troca de água, verificando-se a cada 72 horas a coloração da água até que essa se tornasse clara, indicando o fim da remoção de compostos químicos. A Figura 3 mostra o procedimento utilizado. Após o tratamento químico das cascas, estas foram secas ao ar livre.

### Determinação da massa específica aparente da madeira

As amostras foram acondicionadas em uma sala climatizada a uma temperatura de (20+1)°C e (60+5)% de umidade relativa no Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFLA.

A massa das amostras foi obtida através de pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g na umidade de equilíbrio higroscópico. O volume foi determinado pelo método de imersão em mercúrio.

### Preparação dos painéis cimento-madeira

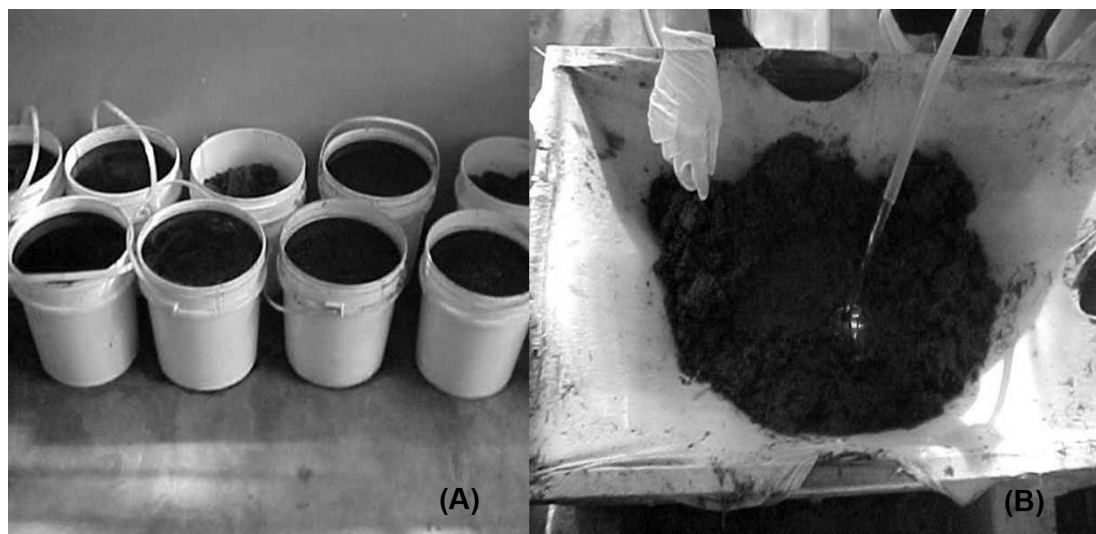
Para a fabricação dos painéis cimento-madeira utilizaram-se as seguintes percentagens de madeira na forma de partículas e cascas tratadas quimicamente e não tratadas, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1**

Tratamentos com as diferentes percentagens das partículas de madeira, cascas tratadas e não tratadas quimicamente.

(Treatments with the different percentages of wood particles, treated and untreated chemically barks)

Tratamentos	Relação Madeira:Cascas (tratadas e não tratadas)		
	% Madeira	% Cascas tratadas	% Cascas não tratadas
T1	100	0	0
T2	75	25	0
T3	50	50	0
T4	25	75	0
T5	75	0	25
T6	50	0	50
T7	25	0	75



**Figura 3**

Procedimento do tratamento químico das cascas de *Eucalyptus grandis*  
(Procedures of the chemical treatment of the *Eucalyptus grandis* barks)

Para cada tratamento produziram-se três painéis, perfazendo um total de 21 painéis.

### Montagem dos painéis

As etapas da montagem dos painéis foram realizadas no Laboratório de Painéis do Departamento de Produtos Florestais do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em Seropédica, RJ.

### Parâmetros dos painéis e da prensagem

Os parâmetros do processo de manufatura dos painéis são listados abaixo:

Densidade do painel = 1,25 g/cm<sup>3</sup>;

Dimensões do painel = 40,0 cm de largura, 40,0 cm de comprimento e 1,6 cm de espessura;

Relação madeira:cimento = 1:2,75;

Relação água:cimento = 1:2,5;

Taxa água de hidratação: cimento = 0,25;

Quantidade de aditivo = CaCl<sub>2</sub> = 4% em relação à massa de cimento;

Porcentagem de Perdas = 6%;

Parâmetros de prensagem: prensagem a frio, pressão = 40 kgf/cm<sup>2</sup> (3,92 MPa);

Tempo total de prensagem e grampeamento = 24 horas;

Tempo de acondicionamento = 27 dias.

Para os cálculos dos componentes de cada painel, a metodologia utilizada foi a descrita por Souza (1994).

### Formação do Colchão

Primeiramente, classificaram-se as partículas através de um sistema de peneiras e foram utilizadas as que passaram pela peneira de 2,08 mm e retidas na de 0,61 mm.

De acordo com os cálculos, fez-se a pesagem das partículas, da água, do cimento Portland CP V – ARI/Plus e do aditivo químico cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), para uma quantidade equivalente aos três painéis de cada tratamento.

Em seguida, os materiais foram misturados em uma betoneira seguindo a metodologia aplicada por Moslemi e Pfister (1987), descrita a seguir.

As partículas foram colocadas dentro da betoneira e com o auxílio de uma pistola com sistema de ar comprimido, aplicando sobre as partículas a água com o aditivo químico diluído. Após a aplicação de toda água, acrescentou-se aos poucos o cimento, homogeneizando-se bem.

Retirada a mistura da betoneira, a massa total de cada painel foi pesada e distribuída aleatoria-

mente sobre uma chapa de alumínio revestida com plástico aderente para evitar que o painel aderisse à chapa de alumínio. Sobre esta chapa de alumínio foi colocada uma caixa de madeira como molde para a formação dos painéis nas dimensões 40 x 40 cm.

Antes da retirada da caixa formadora, foi aplicada uma pré-prensagem para diminuir a espessura do colchão e facilitar o manuseio do mesmo. Retirada a caixa, duas barras de ferro de 1,6 cm foram colocadas ao lado do colchão, para o controle da espessura (separadores), e então, sobrepôs-se outra chapa de alumínio também envolvida com o plástico aderente. O colchão foi conduzido à prensa e aplicada pressão por um tempo aproximado de 10 minutos, tempo suficiente para a montagem do próximo painel.

A prensa fria, já carregada com os três painéis (primeiro tratamento e assim sucessivamente), como mostrado na Figura 4, foi, então, fechada a uma pressão de 40 kgf/cm<sup>2</sup> (3,92 MPa). Foi aplicada e mantida a pressão até que os colchões atingissem a espessura dos separadores, para então se efetuar o grampeamento e a prensa ser liberada. Os painéis permaneceram grampeados por 24 horas, garantindo a espessura final desejada. Nesse período ocorreu a fase de restrição, onde as reações estavam ocorrendo.



**Figura 4**  
Prensa carregada com 3 painéis (1 Tratamento)  
(Loaded press with 3 panels (1 Treatment))

### Acondicionamento

Decorridas as 24 horas, os grampos foram liberados e os painéis retirados, identificados e conduzidos a uma sala climatizada a uma temperatura de (20±1)°C e (60±5)% de umidade relativa. Foram empilhados cuidadosamente, separados por tabiques, para garantir secagem uniforme até a cura final (maturação) dos painéis durante 27 dias.

## Avaliação das propriedades dos painéis

Os painéis foram levados ao Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da UFLA para o corte dos corpos-de-prova. Em seguida foram climatizados a  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  e  $(60 \pm 5)\%$  de umidade relativa, até completar os 28 dias de cura, quando foram ensaiados.

O processo de obtenção dos corpos-de-prova foi realizado através de uso de serra circular comum. Primeiramente, as chapas foram esquadrejadas retirando em torno de 2 cm em cada extremidade, objetivando-se a retirada das bordas. Em seguida retiraram-se os corpos-de-prova conforme distribuição apresentada na Figura 5.

Para avaliar a massa específica aparente dos painéis utilizou-se o método estereométrico para obtenção do volume e pesagem em balança analítica para obtenção da massa, em cada corpo-de-prova utilizado na avaliação das propriedades físicas e mecânicas. Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas dos painéis adotaram-se os procedimentos recomendados pela norma alemã DIN (1982) e a americana ASTM D-1037 (1997).

As propriedades avaliadas são mostradas na Tabela 2.

## Análise estatística

Para todas as variáveis estudadas utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por tratamento. Foram efetuados a análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ao nível de 5% de significância para a propriedade de massa específica aparente dos painéis, cujo modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_i = \mu + t_i + e_i$$

Onde:

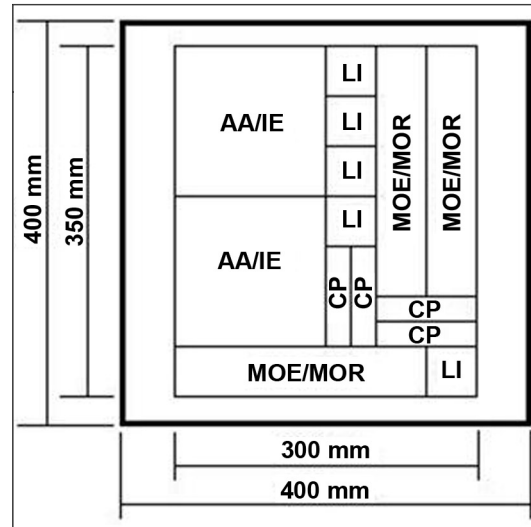
$Y_i$  = é o efeito do  $i$ -ésimo valor observado do tratamento  $i$ ;

$\mu$  = constante inerente a todas as observações (média geral);

$t_i$  = efeito do  $i$ -ésimo tratamento, efeito fixo;

$e_i$  = erro experimental associado à observação  $Y_i$ .

Para as demais variáveis estudadas, havendo necessidade, efetuou-se análise de covariância (ANCOVA) para se ajustar os valores das propriedades a uma massa específica aparente média.



**Figura 5**

Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis para avaliação das propriedades físicas e mecânicas (em mm)

(Project of distribution of the samples in the panels for evaluation of the physical and mechanical properties (in mm))

**Tabela 2**

Propriedades avaliadas dos painéis de cimento-madeira (Evaluated properties of the cement-bonded particleboards)

Propriedades		Número de corpos-de-prova por chapas	Dimensões corpos-de-prova (mm)	Procedimentos recomendados pela norma
Flexão estática (MOE e MOR)	Mecânica	3	250 x 50	DIN 52362
Compressão Paralela à Superfície (CP)		4	100 x 25	ASTM D1037
Ligação interna (LI)		5	50 x 50	ASTM D1037
Inchamento em Espessura (IE) e Absorção de água(AA)	Física	2	150 x 150	ASTM D1037

O modelo estatístico utilizado foi:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + \beta (x_{ij} - \bar{x}) + e_{ij}$$

Onde:

$Y_{ij}$  = observação relativa ao i-ésimo tratamento na j-ésima repetição;

$\mu$  = média geral quando  $n_i = n$  para todo i e  $\sum_i t_i = 0$ ;

$t_i$  = efeito do i-ésimo tratamento;

$\beta$  = coeficiente de regressão linear;

$x_{ij}$  = covariável medido no i-ésimo tratamento na j-ésima repetição;

$e_{ij}$  = erro experimental.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Massa específica aparente da madeira

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou massa específica aparente a 15% de umidade de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Silva (2002) encontrou uma massa específica básica para esta espécie de 0,44 g/cm<sup>3</sup>. Estudos realizados por Pereira et al. (2000) com a mesma espécie encontraram valores de massa específica média na faixa de 0,364 g/cm<sup>3</sup> a 0,479 g/cm<sup>3</sup>. Verifica-se que o valor encontrado no eucalipto em estudo é similar ao normalmente encontrado na literatura, podendo considerar que esta madeira apresenta uma massa específica média que facilita o processamento mecânico na geração de partículas para a produção de painéis cimento-madeira.

### Resultado das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios de massa específica dos painéis produzidos.

**Tabela 3**

Massa específica aparente média dos painéis de cimento-madeira para cada tratamento (Specific mass apparent average of the cement-bonded particleboard for each treatment)

Tratamentos	Massa Específica Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	
T1 – 100% madeira	1,311	A
T2 – 75% madeira + 25% casca tratada	1,304	A
T3 – 50% madeira + 50% casca tratada	1,319	A
T4 – 25% madeira + 75% casca tratada	1,302	A
T5 – 75% madeira + 25% casca não tratada	1,135	C
T6 – 50% madeira + 50% casca não tratada	1,168	C
T7 – 25% madeira + 75% casca não tratada	1,216	B

As médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Observa-se pela Tabela 3 que a inclusão de cascas não tratadas nos painéis, diferiu estatisticamente dos valores dos tratamentos apenas com madeira e das cascas tratadas, que tiveram maiores massas específicas aparentes.

Verifica-se que os tratamentos com 100% de madeira e os incluindo cascas tratadas tiveram valores superiores ao proposto para o trabalho, 1,25 g/cm<sup>3</sup>. Já os tratamentos incluindo cascas não tratadas obtiveram valores inferiores. Essas diferenças de massas específicas observadas nos painéis, com a proposta para a produção dos painéis é verificada em outros trabalhos, como observado por Okino et al. (2003) onde propuseram uma massa específica de 1,4 g/cm<sup>3</sup> e observaram na faixa de 1,197 a 1,240 g/cm<sup>3</sup>. Devido à diferença significativa na massa específica aparente dos painéis, utilizou-se uma análise de covariância (ANCOVA) para se ajustar os valores das propriedades a uma massa específica aparente média.

A Tabela 4 apresenta os valores médios corrigidos pela ANCOVA de resistência à compressão paralela a superfície (CP) e ligação interna (LI) dos painéis produzidos.

A Tabela 4 mostra que utilizando somente a madeira de *Eucalyptus grandis* na produção do painel, o valor da compressão paralela à superfície (CP) foi de 159,36 kgf/cm<sup>2</sup> (15,63 MPa). Este valor está bastante superior ao encontrado por Beraldo e Carvalho (2001) para painéis produzidos com madeira da base das toras de *Eucalyptus grandis* com cinco anos, com o valor de 73,93 kgf/cm<sup>2</sup> (7,25 MPa). Os painéis produzidos pelo processo industrial AMROC (1998) apresentam valores médios de 153 kgf/cm<sup>2</sup> (15 MPa) para resistência a compressão, verifica-se então, que o valor encontrado para o tratamento com somente madeira é superior a este.

**Tabela 4**

Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas de compressão paralela à superfície e ligação interna dos painéis de cimento-madeira

(Effect of the treatments on the mechanical properties of parallel compression to surface and internal bond of the cement-bonded particleboards)

Tratamentos	Compressão Paralela (CP)			Ligação Interna (LI)		
	Kgf/cm <sup>2</sup>		MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>		MPa
T1 – 100% madeira	159,36	B	15,63	7,10	AB	0,69
T2 – 75% madeira + 25% casca tratada	199,43	A	19,56	7,84	A	0,77
T3 – 50% madeira + 50% casca tratada	159,09	B	15,60	6,59	AB	0,65
T4 – 25% madeira + 75% casca tratada	86,40	C	8,47	5,62	B	0,55
T5 – 75% madeira + 25% casca não tratada	84,88	C	8,33	2,15	C	0,21
T6 – 50% madeira + 50% casca não tratada	54,87	C	5,38	1,50	C	0,15
T7 – 25% madeira + 75% casca não tratada	50,22	C	4,93	1,31	C	0,13

As médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (CP) = 11,77% (coeficiente de variação)

C.V. (LI) = 16,84% (coeficiente de variação)

Verifica-se pela Tabela 4 que a incorporação de cascas não tratadas em diferentes porcentagens e a incorporação de 75% de cascas tratadas quimicamente apresentou painéis estatisticamente inferiores em CP em relação ao painel produzido somente com madeira e com incorporações de até 50% de cascas tratadas quimicamente. Este fato evidencia a real necessidade da remoção de componentes secundários, ou seja, extrativos das cascas que inibem as reações de hidratação do cimento na interação cimento-casca-madeira.

Pela Tabela 4 nota-se, ainda, que o tratamento T2 em relação à CP foi estatisticamente diferente dos demais tratamentos, sendo que a incorporação de 25% de cascas tratadas ocasionou o melhor resultado para CP, sendo estatisticamente superior ao painel feito somente com madeira. O tratamento T3 não diferiu estatisticamente do tratamento somente com madeira mostrando que o tratamento químico aplicado às cascas teve efeito positivo nos painéis produzidos, podendo se incorporar até 50% de cascas, desde que haja o tratamento.

Observa-se ainda pela Tabela 4 que para ligação interna (LI) os tratamentos com 100% de madeira até 50% de incorporação de cascas tratadas quimicamente não diferiram estatisticamente. Os tratamentos com incorporação de cascas não tratadas (T5, T6 e T7) obtiveram valores bastante inferiores, não sendo recomendados.

Latorraca (2000) encontrou o valor para ligação interna de 6,76 kgf/cm<sup>2</sup> (0,66 MPa) para

*Eucalyptus urophylla*, sendo considerado um resultado excelente. Os painéis produzidos industrialmente pela AMROC (1998) apresentam valor médio para ligação interna de 0,5 MPa (5,1 kgf/cm<sup>2</sup>). Portanto, os valores obtidos para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 podem ser considerados excelentes. Nota-se que o tratamento químico realizado nas partículas de cascas produziu efeito bastante positivo sobre a LI, mostrando a necessidade de um tratamento para utilização das cascas de *Eucalyptus grandis* na produção dos painéis.

Verifica-se que o tratamento T1 teve um valor absoluto menor que o tratamento T2, para ligação interna, apesar de não diferirem estatisticamente, isso pode ter ocorrido pelo fato de muitos corpos-de-prova terem partido na linha de cola (entre o painel e o suporte de madeira), subestimando, assim, os valores de resistência de ligação interna do T1.

A Tabela 5 apresenta os resultados corrigidos pela ANCOVA, de módulo de elasticidade (MOE) e de módulo de ruptura (MOR) para a propriedade de flexão para os diferentes painéis produzidos.

Verifica-se, pela Tabela 5, que os valores para MOE e MOR, praticamente, seguiram a mesma tendência das propriedades de compressão paralela e ligação interna, indicando o alto grau de incompatibilidade das cascas não tratadas, influenciando negativamente nestas propriedades mecânicas estudadas.



**Tabela 5**

Efeito dos tratamentos sobre as propriedades mecânicas de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão estática dos painéis cimento-madeira (Effect of the treatments on the mechanical properties of modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) to static flexural of cement-bonded particleboards)

Tratamentos	Flexão Estática					
	MOE			MOR		
	Kgf/cm <sup>2</sup>		MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>		MPa
T1 – 100% madeira	37703,6	A	3698,7	165,72	A	16,26
T2 – 75% madeira + 25% casca tratada	33512,1	AB	3287,5	133,68	B	13,11
T3 – 50% madeira + 50% casca tratada	33106,1	AB	3247,7	114,35	C	11,22
T4 – 25% madeira + 75% casca tratada	29814,2	B	2924,7	98,69	C	9,68
T5 – 75% madeira + 25% casca não tratada	18003,5	C	1766,1	57,14	D	5,60
T6 – 50% madeira + 50% casca não tratada	13677,5	CD	1341,7	40,57	E	3,98
T7 – 25% madeira + 75% casca não tratada	11900,8	D	1167,5	37,94	E	3,72

As médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (MOE) = 8,39% (coeficiente de variação)

C.V. (MOR) = 6,02% (coeficiente de variação)

Os painéis produzidos com partículas de madeira de *Pinus radiata*, que é a madeira geralmente utilizada comercialmente na produção de painéis cimento-madeira, teve o resultado de MOE igual a 29061,9 kgf/cm<sup>2</sup> (2850 MPa) (Semple et al., 2002). O valor mínimo exigido no processo industrial BISON é em torno de 30590 kgf/cm<sup>2</sup> (3000 MPa) (Okino et al., 2003). Os tratamentos T1, T2 e T3 não apresentaram diferenças estatísticas entre si, porém o tratamento T1 apresentou valor bastante superior aos encontrados na literatura. Esse resultado indica que o tratamento químico teve efeito positivo nesta propriedade e também que a madeira de *Eucalyptus grandis* é apropriada para a produção de painéis de cimento madeira.

Em relação ao MOR, verifica-se que o tratamento T1 se destacou, apresentando o melhor resultado. Okino et al. (2003) trabalhando com uma mistura de *Eucalyptus grandis* e dois clones de *Hevea brasiliensis* para produção de painéis de cimento-madeira com densidade 1,4 g/cm<sup>3</sup> obtiveram um valor de 65,26 kgf/cm<sup>2</sup> (6,4 MPa) para módulo de ruptura (MOR), sendo inferior ao encontrado neste estudo para madeira de *Eucalyptus grandis*.

Semple et al., 2002 produziram painéis com partículas de madeira de *Pinus radiata* e obtiveram o valor de MOR de 58,32 kgf/cm<sup>2</sup> (5,72 MPa). O processo industrial BISON exige o valor mínimo de 9,0 MPa (91kgf/cm<sup>2</sup>) para MOR (Okino et al., 2003), sendo que os tratamentos T1, T2, T3 e T4 apresentaram valores superiores a este limite, indicando ótima resistência, mostrando que o trata-

mento químico teve efeito positivo também nesta propriedade.

A Tabela 6 mostra os resultados corrigidos pela ANCOVA de absorção de água a 2 horas e 24 horas de imersão.

Nota-se que para absorção de água em 2 horas, os tratamentos com incorporações de cascas não tratadas apresentaram valores inferiores aos tratamentos com cascas tratadas, com exceção do tratamento T6. Para a incorporação de cascas tratadas o tratamento T2, com 25% de cascas tratadas, se destacou, sendo estatisticamente igual ao tratamento somente com madeira (T1). Para 24 horas de imersão, os tratamentos com cascas não tratadas seguiram a mesma tendência apresentada para 2 horas, já para os tratamentos T2, T3 e T4 não houve diferença estatística, mas estes diferiram do tratamento T1, somente com madeira. Latorraca (2000) encontrou valores para *Eucalyptus citriodora*, de 14,13% e 15,69%, para *Eucalyptus urophylla*, 12,90% e 16,21%, *Eucalyptus pellita*, 15,86% e 20,27% e *Eucalyptus robusta*, 18,74% e 22,22% para 2 horas e 24 horas de imersão em água, respectivamente. Verifica-se que os valores encontrados para os tratamentos somente com madeira e os tratamentos incluindo cascas tratadas quimicamente foram inferiores aos encontrado na literatura, tanto para 2 horas quanto para 24 horas. Os tratamentos com cascas não tratadas, com exceção do tratamento T6, apresentaram valores de absorção em 2 horas e 24 horas bastante superiores aos encontrados nos outros tratamentos.

**Tabela 6**

Efeito dos tratamentos sobre a propriedade física de absorção de água com 2 horas e 24 horas de imersão dos painéis cimento-madeira

(Effect of the treatments on the physical property of water absorption on 2 hours and 24 hours of immersion of the cement-bonded particleboards)

Tratamentos	Absorção de água (%)			
	2 horas		24 horas	
T1 - 100% madeira	8,32	AB	12,93	AB
T2 - 75% madeira + 25% casca tratada	8,46	ABC	13,27	B
T3 - 50% madeira + 50% casca tratada	12,19	C	15,75	B
T4 - 25% madeira + 75% casca tratada	11,18	BC	14,91	B
T5 - 75% madeira + 25% casca não tratada	24,94	D	29,28	C
T6 - 50% madeira + 50% casca não tratada	7,13	A	9,52	A
T7 - 25% madeira + 75% casca não tratada	25,96	D	28,00	C

As médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (2 h) = 9,44% (coeficiente de variação)

C.V. (24 h) = 7,50% (coeficiente de variação)

Semple et al. (2002) produziram painéis com resíduos de eucaliptos sem e com a presença de casca, encontrando absorção de 26% para painéis sem casca e 31% para painéis com casca, após 24 horas de imersão em água.

Este efeito de maior absorção de água quando há presença de casca é comum devido a maior capacidade da casca em absorver água comparado com a madeira (Semple et al., 2002).

A Tabela 7 apresenta os valores, corrigidos pela ANCOVA, de inchamento em espessura, com 2 horas e 24 horas, dos painéis para os diferentes tratamentos.

Verifica-se que para o inchamento em espessura a 2 horas o tratamento T4 se destacou com o menor valor absoluto, mas não se diferenciando estatisticamente dos tratamentos T1 e T2. Quanto a 24 horas, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 não apresentaram diferenças estatísticas entre si e obtiveram os melhores valores comparados com os tratamentos T5, T6 e T7.

Segundo Semple et al. (2002) as percentagens de inchamento em espessura para painéis produzidos com resíduos de eucaliptos sem e com presença de cascas, foram de 4,4% e 6,5% respectivamente, em imersão por 24 horas em água.

**Tabela 7**

Efeito dos tratamentos sobre a propriedade física inchamento em espessura com 2 horas e 24 horas de imersão dos painéis cimento-madeira

(Effect of the treatments on the physical property thickness swelling on 2 hours and 24 hours of immersion of the cement-bonded particleboards)

Tratamento	Inchamento em espessura (%)			
	2 horas		24 horas	
T1 - 100% madeira	1,14	AB	1,71	A
T2 - 75% madeira + 25% casca tratada	1,23	AB	1,68	A
T3 - 50% madeira + 50% casca tratada	2,01	B	1,91	A
T4 - 25% madeira + 75% casca tratada	0,92	A	1,62	A
T5 - 75% madeira + 25% casca não tratada	6,36	D	6,69	C
T6 - 50% madeira + 50% casca não tratada	5,48	CD	5,63	BC
T7 - 25% madeira + 75% casca não tratada	4,80	C	5,11	B

As médias seguidas pela mesma letra dentro da mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

C.V. (2 h) = 10,85% (coeficiente de variação)

C.V. (24 h) = 13,32% (coeficiente de variação)

Em painéis produzidos com uma mistura de *Eucalyptus grandis* e dois clones de *Hevea brasiliensis* as médias obtidas foram de 1,8% tanto para 2 quanto para 24 horas de imersão em água. Pelo processo industrial BISON tipo HZ o valor ideal para os painéis de cimento-madeira deve estar na faixa de 1,2% a 1,8% para 24 horas de imersão em água (Okino et al., 2003). Porém, os painéis produzidos pela AMROC (1998) possuíam médias para inchamento em espessura para 24 horas de imersão com valor menor que 1%.

Sendo assim, os tratamentos com 100% de madeira e os incluindo cascas tratadas obtiveram valores dentro da faixa de aceitação de um processo industrial, mostrando que o tratamento das partículas de cascas é benéfico para a sua utilização na produção destes painéis nesta propriedade.

## CONCLUSÕES

- Os resultados utilizando somente madeira de *Eucalyptus grandis* na produção do painel cimento-madeira para todas as propriedades estudadas foram satisfatórios indicando a possibilidade da utilização desta espécie na produção de painéis cimento-madeira;
- Os resultados apresentados pelos tratamentos com incorporação de cascas tratadas quimicamente na produção dos painéis, para a maioria das propriedades avaliadas, foram bons, indicando que a remoção de extrativos presentes nas cascas ocasiona efeito positivo na qualidade final dos painéis produzidos;
- Para compressão paralela e ligação interna o nível de 25% de incorporação das cascas tratadas foi o melhor resultado obtido entre os tratamentos. Para módulo de elasticidade e módulo de ruptura entre os tratamentos com incorporação de cascas tratadas, o nível de 25% foi o que obteve melhor resultado;
- Entre os tratamentos com cascas tratadas, para absorção de água em 2 horas o tratamento com 25% de incorporação apresentou melhor resultado e para 24 horas não apresentaram diferença. Para inchamento em espessura a incorporação de 75% de cascas tratadas apresentou melhor resultado em 2 horas de imersão e não diferiram em 24 horas;
- A incorporação de cascas sem tratamento químico juntamente com a madeira de *Eucalyptus grandis* não é viável tecnicamente para a produção de painéis cimento-madeira.

## AUTORES E AGRADECIMENTOS

YUSTANE LERISSA VEIGA LOPES é Engenheira Florestal, Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. E-mail: veigalopes@yahoo.com.br

FÁBIO AKIRA MORI é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 - Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: morif@ufla.br

LOURIVAL MARIN MENDES é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 - Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: lourival@ufla.br

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA é Professor no Departamento de Produtos Florestais da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Caixa Postal 74527 - Seropédica, RJ - 23890-971 – E-mail: latorraca@ufrj.br

PAULO FERNANDO TRUGILHO é Professor do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 - Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: trugilho@ufla.br

GILMAR CORREIA SILVA é Engenheiro Florestal, Mestre em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Lavras - Lavras, MG – E-mail: gilmarcs@yahoo.com.br

Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras, Coordenação do Curso de Pós – Graduação do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras e Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMROC - PANEL. **Technical data**. Nagdeburg, 1998. p.3
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials: ASTM D1037. In: ASTM STANDARD. **Annual book 1996**. Philadelphia, 1997.
- BERALDO, A.L.; ARRUDA, A.C.; STANCATO, A.C.; SAMPAIO, C.A.P.; FERNANDES FILHO, O.P.; LEONEL, V.M. Compósito à base de resíduos vegetais e cimento Portland. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8, Uberlândia, 2002. **Anais...** Uberlândia: FECIV-UFU, 2002. 1 CD-ROM
- BERALDO, A.L.; CARVALHO, J.V. *Eucalyptus grandis* wood-Portland cement particleboard. **Agribuilding**, p.3-6, set. 2001.

DIN – DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. **Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength: DIN 52362.** Berlin, 1982. p.39- 40

ELTOMATION. **Apresenta informações sobre os produtos a base de cimento e madeira da indústria.** Disponível em: < <http://www.eltomation.nl> >. Acesso em: 19 out. 2003.

HOFSTRAND, A.D.; MOSLEMI, A.A.; GARCIA, J.F. Curing characteristics of particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with portland cement. **Forest products journal**, v.34, n.2, p.57-61, 1984.

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

MOSLEMI, A.A.; PFISTER, S.C. The influence of cement/wood ratio and cement type on bending strength and dimensional stability of wood-cement composite panels. **Wood and fiber science**, v.19, n.2, p.165-175, 1987.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1982. 738p.

OKINO, E.Y.A.; SOUZA, M.R.; SANTANA, M.A.E.; ALVES, M.V.S.; SOUSA, M.E.; TEIXEIRA, D.E. Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & concrete composites**, p.1-6, 2003. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 20 nov. 2003.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Estatísticas: área plantada com pinus e eucaliptos no Brasil. São Paulo, 2001.** Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas>>. Acesso em: 10 out. 2003.

SEMPLE, K.E.; CUNNINGHAM, R.B.; EVANS, P.D. The suitability of five Western Australian mallee eucalypt species for wood-cement composites. **Industrial crops and products**, n.16, 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 10 out. 2003.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden.** Curitiba, 2002. 179p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná

SIMATUPANG, M.H.; HABIGHORST, C.; LANGE, H.; NEUBAUER, A. Investigations on the influence of the addition of carbon dioxide on the production and properties of rapidly set wood-cement composites. **Cement & concrete composites**, n.17, p.187-197, 1995. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 07 jan. 2004.

SOUZA, M.R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection.** Idaho, 1994. 123 p. Tese (Doctor of Philosophy). University of Idaho

WATAI, L.T. Painéis estruturais: tendências e desenvolvimento no Brasil. **Revista da madeira**, v.5, n.28, p.32-34, 1996.