

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA MADEIRA DE CANDEIA (*Eremanthus erythropappus*) PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS CIMENTO-MADEIRA

Rosimeire Cavalcante dos Santos¹, Lourival Marin Mendes², Fábio Akira Mori², Rafael Farinassi Mendes³

(recebido: 11 de março de 2008; aceito: 30 de julho de 2008)

RESUMO: A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é uma espécie florestal nativa de múltiplos usos e especialmente utilizada como produtora de óleos essenciais. O aproveitamento do resíduo após a extração do óleo para a produção de painéis particulados torna-se uma alternativa viável, evitando diversos problemas de ordem ambiental, além de possibilitar a inserção desses produtos no mercado consumidor. Objetivou-se, neste trabalho, verificar a viabilidade da produção de painéis cimento-madeira a partir do resíduo madeireiro, gerado após a extração do óleo de candeia, em associação às madeiras de pinus e eucalipto. O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram arranjos em um esquema fatorial 2 x 3 (duas espécies de madeira e três porcentagens de substituição das madeiras pelo resíduo de candeia). Os resultados das propriedades físico-mecânicas indicaram grande potencial de utilização do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, em associação às madeiras de eucalipto e pinus, na manufatura dos painéis cimento-madeira.

Palavras-chave: Painéis cimento-madeira, aproveitamento resíduo, candeia.

USE OF CANDEIA'S (*Eremanthus erythropappus*) WASTE WOOD FOR WOOD-CEMENT PANELS PRODUCTION

ABSTRACT: The candeia (*Eremanthus erythropappus*) is a native forest species with multiple uses and specially utilized as essential oils source. The use of the candeia's waste wood after oil extraction for particle panels production becomes a viable alternative, avoiding environmental problems and increasing the availability of these products in the consuming market. This work verified the viability of producing wood-cement panels using waste wood generated after the extraction of candeia's oil, in association with pinus and eucalypto woods. The experiment was installed according to a completely randomized design with three repetitions. The treatments were arranged according to a factorial 2 x 3 scheme (two wooden species and three replacement percentages of the woods by candeia's waste). The results of the physical and mechanical property tests showed high potentiality of candeia waste wood, after oil extraction, in association with pinus and eucalypto wood for manufacturing wood-cement panels.

Key words: Wood-cement panels, waste use, candeia.

1 INTRODUÇÃO

Os painéis particulados constituídos pelos aglomerados, painéis minerais e painéis de fibra são produtos com maior valor agregado, quando comparados com a madeira in natura ou com os produtos sem industrialização ou semi-industrializados. Essa modalidade de uso da madeira vem substituindo os produtos tradicionalmente usados e vários tipos de painéis vêm ganhando espaço comercial em virtude da melhor relação preço/desempenho 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.

No mundo, 50% das indústrias desses 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, painéis particulados podem ser produzidos com o propósito de aproveitamento de resíduos madeireiros, desde que o controle sobre o material lignocelulósico seja realizado sem que haja prejuízo na qualidade do produto final, visto que as variações entre espécies, tipos de madeira, como também composição química da mesma produzem diferentes efeitos nos painéis particulados.

O aproveitamento do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, é uma das alternativas para a produção de painéis particulados. Grande volume de

¹Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira na Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – meire_caico@yahoo.com.br

²Professores do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – lourival@ufla.br, morif@ufla.br

³Graduando em Engenharia Florestal no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37200-000 – Lavras, MG – rafael_farinassi@ufla.br

resíduo madeireiro é gerado a partir desse processo, pois o óleo é largamente utilizado na indústria farmacêutica e de cosméticos, sendo o principal princípio ativo o alfabisabolol que, segundo (PEDRALI et al., 1997), possui propriedades antiflogísticas, antibacteriana, antimicótica, dermatológica e espasmódica. 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.

O gênero *Eremanthus* tem várias espécies: *Eremanthus arboreus* (Gardner) MacLeish, *Eremanthus brasiliensis* (Gardner) MacLeish, *Eremanthus polycephalus* (DC.) MacLeish, *Eremanthus glomerulatus* Less., *Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish e *Eremanthus incanus* (Less.) Less. Dessas as duas últimas citadas são as de maior ocorrência.

A candeia (*Eremanthus erythropappus*) é classificada como da família Asteraceae, pertence ao grupo ecológico das pioneiras e é considerada precursora na invasão de campos (CARVALHO, 1994). É uma espécie florestal de múltiplos usos, podendo ser utilizada como moirões de cerca de alta durabilidade, além de ser produtora de óleos essenciais. Outras razões para se investir na candeia é que é uma espécie nativa e os produtos dela obtidos alcançam preços relativamente altos no mercado.

A candeia é vendida para as fábricas de óleo que pagam preços diferenciados pela madeira colocada na beira da estrada daquela madeira colocada em seu pátio. O preço pago pela indústria varia também e principalmente, em função da qualidade da madeira em termos de produção de óleo. Um dos parâmetros visuais mais utilizados para avaliar a qualidade da madeira é o diâmetro das peças. Normalmente, peças de maior diâmetro têm uma proporção maior de cerne que de alburno e, como a concentração maior de óleo está no cerne, elas têm maior valor.

Há no Brasil, seis indústrias que extraem o óleo de candeia natural bruto, sendo duas em São Paulo, três em Minas Gerais e uma no Paraná. A capacidade de produção estimada de óleo de candeia natural bruto dessas indústrias é de 174 mil quilos por ano, o que gera uma demanda de cerca de 22 mil m³ de madeira (SCOLFORO et al., 2002).

O rendimento obtido na destilação do óleo bruto para obter o alfabisabolol varia de 65 a 75%, ou seja, com 1 (um) kg de óleo de candeia natural produz-se de 650 a 750 gramas de alfabisabolol (SCOLFORO et al., 2002).

A maior parte do óleo de candeia produzido pelas indústrias é exportada, principalmente para indústrias de cosméticos e fármacos de países europeus. Os preços variam de US\$ 20.00 a US\$ 30.00/kg, no caso do óleo bruto, e de US\$ 38.00 a US\$ 55.00/kg, no caso do alfabisabolol (SCOLFORO et al., 2002).

Painéis cimento-madeira são produtos compostos basicamente de partículas ou fibras de madeira (agregado), cimento Portland (aglomerante) e água. Aditivos químicos têm sido empregados com o propósito de reduzir o tempo de endurecimento do cimento, acelerando o desenvolvimento da resistência. De acordo com Chittenden et al. (1975), citados por Latorraca (2000), em geral a maioria dos produtos lignocelulósicos podem, teoricamente, ser empregados como matéria-prima para, junto com o cimento, compor os painéis minerais. Porém, substâncias presentes na madeira como : fenóis, ácidos e açúcares podem retardar e em alguns casos impedir a “pega” do cimento, sendo necessária a utilização de algum processo de compatibilização da madeira com a matriz de cimento, para que ocorra a menor influência possível no processo de hidratação do cimento (SAVASTANO et al., 2000, citados por FONSECA et al., 2002).

Esses processos podem ser realizados através de tratamentos feitos por diversos meios, em geral determinados em função do uso da peça a ser fabricada ou da disponibilidade tecnológica, inclusive tratamento do material lignocelulósico em água fria.

Objetivou-se desenvolver esta pesquisa para avaliar a viabilidade de utilização do resíduo da madeira de candeia, após a extração do óleo, na geração de produtos de maior valor agregado, através da confecção de painéis cimento-madeira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados nesta pesquisa: o clone 4 de *Eucalyptus* spp procedente da Companhia Mineira de Metais, localizada no município de Vazante – MG, 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, madeira de *Pinus* spp procedente do Campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA, MG, cimento Portland CP V – ARI/Plus, água destilada e o aditivo químico cloreto de cálcio (CaCl₂). Foram utilizados também, como base de comparação dos resultados, os valores mínimos das propriedades mecânicas dos painéis comerciais estabelecidos pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978).

Os painéis foram produzidos a partir do aproveitamento da laminação e do arredondamento das toras das madeiras de eucalipto e pinus e passaram, posteriormente, por um moinho de martelo para serem transformados em partículas, sendo essas submetidas a peneiramento mecânico. Os resíduos da madeira de candeia também passaram pelo processamento em moinho de martelo e pelo peneiramento mecânico. O material resultante do aproveitamento da laminação utilizado na produção dos painéis, em sua maioria, foi aquele da seção periférica das toras. Menor volume foi utilizado das aparas das lâminas. As partículas utilizadas foram aquelas que, após peneiramento mecânico, passaram pela peneira de 10 mesh e ficaram retidas na de 30 mesh. As partículas de *Pinus* spp, *Eucalyptus* spp e *Eremanthus erythropappus* foram colocadas em recipientes distintos e imersas em água fria até completa saturação, deixando-se um volume de água acima do nível dessas, durante 24 horas, agitando-se periodicamente. Passado esse tempo, as partículas foram lavadas em água corrente até que a água se apresentasse incolor, indicando que já não havia mais, aparentemente, presença de compostos químicos. Posteriormente, as partículas foram secas ao ar livre e ao atingirem umidade final de 11% foram utilizadas na confecção dos painéis.

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tratamentos foram arrançados segundo um esquema fatorial 2 x 3, sendo 2 espécies de madeira (eucalipto e pinus) e 3 porcentagens de substituição pela madeira de candeia (25%, 50% e 75%).

Para os cálculos dos componentes de cada painel (madeira, cimento, água e aditivo), utilizou-se a metodologia sugerida por Souza (1994), determinando-se, assim, a massa equivalente dos componentes para cada tratamento.

Após pesado cada componente, esses foram misturados em uma betoneira. Primeiramente, colocaram-se as partículas de madeira, conforme proporções calculadas para cada tratamento, e pulverizou-se lentamente a água com o aditivo químico diluído, para obter uma umidificação homogênea das partículas, evitando-se assim a formação de embolamentos. Em seguida, adicionou-se o cimento sobre as partículas umidificadas e deixou-se a betoneira funcionando por 8 minutos, contados a partir do momento em que todos os componentes se encontravam na betoneira. A massa total dos componentes para os três painéis equivalentes a cada tratamento foi misturada ao mesmo tempo.

Retirada da betoneira, a massa de cada painel foi devidamente separada, pesada e distribuída aleatoriamente em placas de alumínio formadoras do colchão, untadas com óleo diesel, para facilitar a retirada do painel após sua prensagem e grampeamento. Sobre cada chapa de alumínio foram colocadas quatro barras de ferro, com espessura de 15 mm, para controlar a espessura final dos painéis. As barras formavam um quadrado, limitando as dimensões de cada painel em 480mm. Em seguida, foram sobrepostas mais duas chapas de alumínio, também untadas com óleo diesel e limitadas pelas barras de ferro, favorecendo a confecção de três painéis por tratamento.

Carregada com os painéis, a prensa foi fechada sob pressão a frio. Aplicou-se e manteve-se a pressão necessária para os colchões atingirem a espessura dos separadores, para efetivar o grampeamento. Durante esse período, os painéis foram mantidos sob condição ambiente de umidade e temperatura.

Na confecção dos painéis foram utilizados os seguintes parâmetros: densidade do painel: 1,25 g/cm³, dimensões do painel: 48 x 48 x 1,5 cm, relação madeira:cimento: 1: 2,75, relação água: cimento: 1: 2,5, taxa água de hidratação: cimento: 0,25, quantidade de aditivo: 4% em relação à massa de cimento, porcentagem de perdas: 6%, pressão: 40 kgf/cm², prensagem a frio em temperatura ambiente, tempo de prensagem: 10 minutos, tempo de grampeamento: 24 horas, tempo de acondicionamento: 28 dias.

Após o processo de prensagem e grampeamento durante 24 horas, os grampos foram retirados e os painéis encaminhados para a retirada dos corpos-de-prova para posteriores ensaios físicos e mecânicos. Em seguida, os mesmos foram levados à câmara de climatização a uma temperatura de 20 ± 3^oC e a 65 ± 1% de umidade relativa e, empilhados cuidadosamente, separados por tabiques, para garantir secagem uniforme, quando foram então ensaiados 28 dias depois para a determinação das seguintes propriedades físico-mecânicas: absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, ligação interna, flexão estática para determinação dos módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) e compressão paralela à superfície dos painéis. As dimensões dos corpos-de-prova e os métodos de ensaio foram baseados na norma ASTM (1982).

Antes da confecção dos painéis foi realizada a análise de aptidão das espécies com o cimento segundo o método sugerido por Hofstrand et al. (1984), com algumas modificações. A análise de aptidão consistiu, de forma

sistemática, na evolução da temperatura da mistura cimento-madeira, durante 24 horas. O monitoramento da temperatura de reação é utilizado como parâmetro para a determinação dos índices de inibição da “pega” ou endurecimento do cimento.

Foram feitos nove tratamentos para a análise de aptidão das madeiras com o cimento. Do tratamento T1 ao tratamento T6, as partículas receberam tratamento prévio em água fria durante 24 horas e a massa para cada espécie a ser utilizada no teste foi calculada de acordo com as proporções que seriam utilizadas na confecção dos painéis. A associação utilizada nos tratamentos T1, T2 e T3 foi eucalipto e candeia (25:75), (50:50) e (75:25), respectivamente. Nos tratamentos T4, T5 e T6 foi utilizada a associação de pinus e candeia (25:75), (50:50) e (75:25), respectivamente.

Os tratamentos T7, T8 e T9 são os chamados tratamentos testemunha, em que foram utilizadas porcentagens de 100% de candeia, 100% pinus e 100% eucalipto, respectivamente, sem tratamento prévio das partículas.

Para determinação do índice de inibição foram utilizadas as partículas de madeira que ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh. Foram utilizados 200 g de cimento Portland CPV – ARI/Plus, 15 g de partículas secas ao ar em proporções equivalentes àquelas que seriam utilizadas na confecção dos painéis e 90 ml de água. Sem exceder 5 minutos, o material foi misturado e colocado em saco plástico (4 x 20cm). Nesses sacos contendo a mistura foi colocado um cabo termopar tipo “J” acoplado a um sistema de aquisição de dados de fabricação da YOCOGAWA, modelo DC100–12–11–1D–Data Collector, no qual os dados foram gerados e armazenados em intervalos de um minuto, durante um período de 24 horas. Posteriormente, os dados foram transferidos para um microcomputador e processados no aplicativo computacional Microsoft Excel.

Tabela 2 – Delineamento experimental utilizado na manufatura dos painéis.

Table 2 – Experimental designing used in the manufacture of panels.

Tratamentos	% Candeia	% <i>Eucalyptus spp</i>	% <i>Pinus spp</i>
T1	75	25	-
T2	50	50	-
T3	25	75	-
T4	75	-	25
T5	50	-	50
T6	25	-	75

A quantidade de cimento e de partículas secas para o teste obedeceu à relação madeira:cimento de 1: 2,75. A quantidade de água foi calculada pela equação sugerida por Souza (1994), citado por Latorraca (2000), conforme apresentada a seguir:

$$\text{ÁGUA(g)} = \text{taxa água : cimento} \cdot \text{cimento(g)} + \text{madeira} \cdot 0,3 - \left(\frac{\text{UM}(\%)}{100} \right)$$

Os índices de inibição foram calculados de acordo com a equação de Hofstrand et al. (1984).

Para a classificação da compatibilidade da madeira com o cimento foi utilizada a classificação de Okino et al. (2003), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Índice de inibição utilizado para classificar a compatibilidade da madeira com o cimento.

Table 1 – Inhibition index use for classifying wood and cement compatibility.

Índice de inibição (%)	Classificação
I < 10	Inibição baixa
I = 10 – 50	Inibição moderada
I = 50 – 100	Inibição alta
I > 100	Inibição extrema

Fonte: Okino et al. (2003).

O delineamento experimental utilizado na confecção dos painéis está apresentado na Tabela 2.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da análise de aptidão das espécies com o cimento na manufatura dos painéis cimento-madeira

Na Tabela 3, apresentam-se os resultados da análise de aptidão das espécies dentro dos tratamentos.

Verifica-se que, para os tratamentos (T1, T3, T4 e T6), na medida em que aumentou a proporção de eucalipto

Tabela 3 – Classificação do índice de inibição das madeiras, após teste de aptidão com o cimento.**Table 3** – Classification of wood inhibition index after aptness test with cement.

Tratamentos	T Max. (°C)	Tempo (h)	S Max. (°C/h)	I Calç (%)	Classificação do I
T1 (25% Eucalipto + 75% Candeia)	63,2	14,8	7,8	3,01	Baixa
T2 (50% Eucalipto + 50% Candeia)	61,6	15,23	7,6	2,4	Baixa
T3 (75% Eucalipto + 25% Candeia)	78,6	9,56	17,2	0,31	Baixa
T4 (25% Pinus + 75% Candeia)	63,4	14,31	11,5	1,14	Baixa
T5 (50% Pinus + 50% Candeia)	54,3	18,24	4,9	2,5	Baixa
T6 (75% Pinus + 25% Candeia)	73,6	10,5	13,5	0,2	Baixa
T7 (100% Candeia)	26,1	26,1	0,6	47,8	Moderada
T8 (100% Pinus)	48,2	9,06	1,9	2,1	Baixa
T9 (100% Eucalipto)	42,4	10,43	2,9	2,6	Baixa

Onde:

T = Temperatura máxima atingida pela mistura cimento-madeira-água;

Tempo (h) = Tempo para alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura cimento-madeira-água;

S = Variação máxima da temperatura por hora para a mistura cimento-madeira-água;

I = Índice de inibição.

e pinus associada à candeia, o índice de inibição foi reduzido. Para 75% de eucalipto associado a 25% de candeia o I foi igual a 0,31% (T3), para o pinus associado na mesma proporção o I foi igual a 0,2% (T6). Os índices observados são considerados excelentes, pois para essas condições maiores temperaturas foram alcançadas em um menor intervalo de tempo, o que indica compatibilidade e/ou aptidão das espécies com o cimento, sob condições de tratamento prévio das partículas em água fria. As maiores temperaturas atingidas para os menores valores de I foram 78,6°C e 73,6°C para as associações eucalipto e pinus à candeia, respectivamente. Latorraca (2000), estudando quatro espécies de eucalipto encontrou para os menores valores de I, resultados iguais a 78,41°C e 79,86°C.

Os tratamentos T7, T8 e T9 mostram os resultados dos testes de aptidão das três madeiras utilizadas na produção dos painéis na ausência de tratamento das partículas. O índice de inibição observado para o tratamento T7 (47,8%), 100% madeira de candeia, evidencia a relação existente entre a compatibilidade e/ou aptidão da espécie com o cimento na confecção dos painéis e suas propriedades químicas, especialmente os teores de extrativos. Como a candeia é uma espécie que apresenta grande porcentagem de óleo na madeira, esse fato é evidenciado no maior teor de extrativo, quando comparada às outras duas espécies utilizadas na confecção dos painéis.

3.2 Propriedades físicas

Os valores médios de absorção de água (AA) após 2 e 24 horas de imersão estão apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Os resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5 indicam que, ao serem utilizadas as porcentagens de 25 e 50% de substituição a absorção de água, após duas e vinte e quatro horas, quando utilizou-se a madeira de pinus, foi estatisticamente superior aos valores observados para a absorção de água ao ser utilizada a madeira de eucalipto, associada à candeia. Para a porcentagem de substituição de 75%, a absorção de água após duas horas foi estatisticamente semelhante para as madeiras de pinus e eucalipto. Para a absorção de água após vinte e quatro horas, nessa mesma porcentagem, a absorção de água para a associação da madeira de eucalipto foi estatisticamente superior quando comparada à associação da madeira de pinus ao resíduo da candeia.

Os valores para absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, observados nesse trabalho, são considerados baixos, especialmente quando comparados com os resultados apresentados na literatura para outros tipos de painéis, como por exemplo, o aglomerado convencional.

Latorraca (2000), estudando a influência de quatro espécies de eucalipto sobre as propriedades físicas dos

Tabela 4 – Valores médios, em porcentagem, de absorção de água (AA) após 2 horas de imersão em água em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 4 – Average values of water absorption after immersion for 2 hours in function of wood species and percent substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de substituição ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	9,18 (0,38) b	9,36 (0,38) b	9,63 (0,38) a
Pinus	13,54 (0,38) a	12,60 (0,38) a	9,83 (0,38) a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student, com um nível nominal de significância de 5%.

Tabela 5 – Valores médios em porcentagem de absorção de água (AA) após 24 horas de imersão em água em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 5 – Average values of water absorption after immersion for 24 hours in function of wood species and percent substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de Madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	11,29 (0,29) b	11,83 (0,29) b	12,07 (0,29) a
Pinus	14,63 (0,29) a	14,41 (0,29) a	11,02 (0,29) b

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student com um nível nominal de significância de 5%.

compósitos cimento-madeira encontrou valores médios para absorção de água após 2h de imersão entre 12,90% e 18,74%. Para a absorção de água após 24h de imersão o autor encontrou valores médios percentuais entre 15,69% e 22,22%. Souza (1994), utilizando partículas de eucalipto encontrou valor médio de 38% para a absorção de água após 24h de imersão.

Nas Tabelas 6 e 7 estão apresentados os valores médios de inchamento em espessura, após 2h e 24h de imersão em água, respectivamente.

Apesar de não apresentarem significância, as médias encontradas nesse estudo para inchamento em espessura tanto em 2h, quanto em 24h, em todas as porcentagens de associação estudadas, são inferiores àquelas encontradas na literatura, como também às médias máximas exigidas 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 e 24h de imersão em água.

Latorraca (2000) encontrou para quatro espécies de eucalipto utilizadas na confecção de painéis cimento-madeira valores médios para inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão entre 1,28% a

1,75% e 1,64% a 2,12%, respectivamente. Semple et al. (2002), estudando painéis produzidos com resíduo de eucalipto verificaram, para os painéis confeccionados sem inclusão de casca, valor médio de 4,4% para inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água.

3.3 Propriedades mecânicas

Na Tabela 8, apresentam-se os valores de compressão paralela à superfície dos painéis. Os resultados apresentados indicam que a resistência à compressão paralela dos painéis confeccionados, associando-se eucalipto à candeia, foi superior estatisticamente àqueles em que foi associado pinus à candeia, independente da porcentagem de substituição utilizada.

Latorraca (2000), estudando o efeito de quatro espécies de eucalipto na resistência à compressão paralela, observou valor médio de 66,86 kgf/cm². Beraldo et al. (1998) encontraram para painéis produzidos com madeira da base de toras de *Eucalyptus grandis* valor médio de 73,93 kgf/cm².

Houve uma redução significativa no valor de compressão paralela na associação pinus à candeia, estando abaixo da média encontrada na literatura para essa

Tabela 6 – Valores médios em porcentagem de inchamento em espessura (IE) após 2 horas de imersão em água, em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 6 – Average values of swelling thickness after immersion for 2 hours in function wood species and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de Madeira			Médias (%)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	0,30 (0,23)	0,82 (0,23)	0,31 (0,23)	0,47 (0,13)
Pinus	0,34 (0,23)	0,75 (0,23)	0,10 (0,23)	0,39 (0,13)
Médias	0,32 (0,16)	0,79 (0,16)	0,21 (0,16)	

Tabela 7 – Valores médios em porcentagem de inchamento em espessura (IE) após 24 horas de imersão em água, em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 7 – Average values of swelling thickness after immersion for 24 hours in function wood species and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de Madeira			Médias (%)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	0,36 (0,28)	0,78 (0,28)	0,51 (0,28)	0,55 (0,16)
Pinus	0,26 (0,28)	0,46 (0,28)	0,28 (0,28)	0,33 (0,16)
Médias	0,31 (0,20)	0,62 (0,20)	0,39 (0,20)	

Tabela 8 – Valores médios (kgf/cm²) da resistência à compressão paralela nos painéis, em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 8 – Average values (kgf/cm²) of panel parallel compression resistance in function of wood species and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de substituição			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	97,67 (10,47)	62,00 (10,67)	59,00 (10,67)	72,89 (6,05) a
Pinus	30,67 (10,47)	43,00 (10,67)	31,33 (10,67)	35,00 (6,05) b
Médias	64,17 (7,41)	52,50 (7,41)	45,17 (7,41)	

propriedade. Existem algumas possíveis razões que explicam a perda de resistência à compressão em compósitos cimento-madeira, geralmente ligadas à absorção de água pelas fibras e partículas e posterior liberação na argamassa.

Conforme relatado por Savastano et al. (1994), a água, após contato com as fibras ou partículas de madeira, é liberada na matriz de cimento juntamente com extrativos, dentre eles, fenóis, taninos e açúcares, que contribuem sobremaneira para o retardo na reação de pega e endurecimento da matriz.

Essa mesma água, ao ser liberada de volta à matriz,

é envolvida por uma película de água (efeito parede), aumentando a porosidade da zona de transição, o que favorece o acúmulo de cálcio nessa mesma zona, tornando-a mais frágil e suscetível a fissuras.

Os resultados na Tabela 9 indicam que os painéis confeccionados com 25% de eucalipto associado à candeia apresentaram valor médio superior de módulo de elasticidade (MOE) quando comparados àqueles produzidos com pinus associados à candeia nessa mesma porcentagem. Para as demais porcentagens de madeira estudadas o módulo de elasticidade não diferiu entre si.

Olorunnisola & Adefisan (2002) obtiveram valores variando de 4.800 kgf/cm² até 35.630 kgf/cm², trabalhando com painéis produzidos com partículas de cana e cimento Portland tipo I. Painéis cimento-madeira comerciais produzidos no processo Bison Wood-Cement Board (1978) pela indústria internacional, apresentam valores de MOE em torno de 30.000 kgf/cm².

Menores valores do MOE, encontrados para o tratamento no qual foi utilizado 25% da madeira de pinus, associada ao resíduo da madeira de candeia podem ser atribuídos à possível relação existente entre a quantidade de água adicionada para formar a matriz durante a confecção dos painéis e o comportamento da espécie refletido no ensaio de absorção de água. Esse fato, possivelmente, colaborou para a redução na rigidez da matriz formada.

A Tabela 10 apresenta os resultados do teste de flexão estática para a variável módulo de ruptura (MOR).

Observa-se que os painéis produzidos com 25% de eucalipto associado à candeia apresentaram valor superior para módulo de ruptura (MOR), quando comparados àqueles produzidos com pinus associados à candeia nessa mesma porcentagem. Para as demais porcentagens de

madeira estudadas (50% e 75%) um comportamento inverso foi observado, ou seja, o MOR foi significativamente superior para os painéis produzidos com pinus associado à candeia.

Observa-se que o maior valor médio encontrado para MOR foi para a associação pinus à candeia 120,05 kgf/cm². Esse valor é superior a alguns valores encontrados na literatura e ao valor mínimo estabelecido pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978) que é de 91 kgf/cm². O MOR encontrado para associação eucalipto e candeia nas porcentagens 50 e 75%, apesar de estarem abaixo das exigências do processo Bison Wood-Cement Board (1978), ainda é superior a resultados encontrados na literatura para painéis cimento-madeira, confeccionados ou não, com madeiras associadas.

A Tabela 11 indica os valores médios de ligação interna observados nos painéis, avaliando tanto a influência das espécies utilizadas em associação ao resíduo da madeira de candeia quanto a interação entre as porcentagens utilizadas dessas espécies sobre a propriedade analisada.

Os valores médios para ligação interna, encontrados no presente trabalho, não foram significativos para as

Tabela 9 – Valores médios (kgf/cm²) do módulo de elasticidade (MOE), em função das espécies de madeira e porcentagens de substituição por candeia.

Table 9 – Average values (kgf/cm²) of modulus of elasticity in function of wood species and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de Madeira ¹		
	25%	50%	75%
Eucalipto	51.176 (3.742) a	38.503 (3.742) a	36.811 (3.742) a
Pinus	23.372 (3.742) b	35.953 (3.742) a	42.400 (3.742) a

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student com um nível nominal de significância de 5%.

Tabela 10 – Valores médios (kgf/cm²) do módulo de ruptura (MOR), em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 10 – Average values (kgf/cm²) of modulus of rupture in function of wood species and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de Madeira ¹			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	104,99 (6,49) a	74,82 (6,49) b	82,09 (6,49) b	87,30 (3,74)
Pinus	57,88 (6,49) b	95,64 (6,49) a	120,05 (6,49) a	91,19 (3,74)
Médias	81,44 (4,59)	85,23 (4,59)	101,07 (4,59)	

¹médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student, com um nível nominal de significância de 5%.

Tabela 11 – Valores médios (kgf/cm²) de ligação interna, em função das espécies de madeira e porcentagem de substituição por candeia.

Table 11 – Average values (kgf/cm²) of internal bond in function of wood specie and percentage substitution for candeia.

Espécies	Porcentagem de substituição			Médias (kgf/cm ²)
	25%	50%	75%	
Eucalipto	6,39 (0,38)	5,96 (0,38)	5,99 (0,38)	6,11 (0,22)
Pinus	6,06 (0,38)	6,85 (0,38)	5,48 (0,38)	6,13 (0,22)
Médias	6,22 (0,27)	6,41 (0,27)	5,74 (0,27)	

fontes de variação analisadas, porém apresentam-se superiores à exigência mínima requerida pelo processo Bison Wood-Cement Board (1978), que é de 4,0 kgf/cm².

Latorraca (2000) trabalhando com madeira de *Eucalyptus urophylla* encontrou valor médio para ligação interna de 6,76 kgf/cm², considerando um excelente resultado em relação a outras médias encontradas na literatura. Painéis cimento-madeira comerciais, com densidade média de 1,35 g/cm³, apresentam valor para ligação interna de 5,00 kgf/cm² (VIROC, 2007).

4 CONCLUSÕES

A redução na porcentagem de associação do resíduo da madeira de candeia às madeiras de eucalipto e pinus, de 75 para 25% promoveu a redução do índice de inibição.

A absorção de água observada nos tratamentos, após duas e vinte e quatro horas de imersão, mostra que, de modo geral, maiores porcentagens de água foram absorvidas pelos painéis quando associados à madeira de pinus o resíduo da madeira de candeia.

O inchamento em espessura nos painéis, após duas e vinte e quatro horas de imersão em água, não foram afetados pelos tratamentos adotados nessa pesquisa.

Maiores valores significativos do MOE foram observados nos painéis confeccionados na associação de 25% de eucalipto ao resíduo da madeira de candeia.

A utilização das madeiras de eucalipto e pinus apenas mostrou-se significativa para os valores do MOR, quando considerada a interação entre essas espécies e as porcentagens utilizadas em associação ao resíduo da madeira de candeia, e maiores valores para essa propriedade foram observados quando a associação foi feita com 25% de eucalipto e 75% de pinus.

Os valores de resistência à ligação interna avaliados nos painéis não foram afetados pelos tratamentos adotados nessa pesquisa.

O uso do resíduo da madeira de candeia mostrou-se viável tecnicamente para a produção de painéis cimento-madeira em todas as propriedades físico/mecânicas analisadas.

5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo financiamento desta pesquisa.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia, 1982. (ASTM, 1037).
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Produtos florestais**: área de operações industriais: gerência setorial 1. Brasília, DF, 2000.
- BERALDO, A. L.; PIMENTEL, I.; LIMA, I. L.; BARCHET, V. G. Efeito de tratamentos físico-químicos sobre a resistência à compressão de compósitos de madeira cimento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., 1998, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEM, 1998. v. 4, p. 263-271.
- BISON WOOD-CEMENT BOARD. **Bison-report**. [S.l.], 1978. 10 p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira. Brasília, DF: Embrapa-CNPQ, 1994. 640 p.
- FONSECA, F. de O.; LIMA, A. M. de; MACEDO, A. N.; TEIXEIRA, M. M. Compósito cimento-madeira com resíduos provenientes da indústria madeireira da região amazônica. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia, MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002.

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

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

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S.; SOUSA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. Cementbonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood. **Cement & Concrete Composites**, 2003. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 20 set. 2007.

OLORUNNISOLA, A. O.; ADEFISAN, O. O. Trial production and testing of cement-bonded particleboard from rattan furniture wast. **Forest Products Journal**, Madison, v. 34, n. 1, p. 116-124, 2002.

PEDRALLI, G.; TEIXEIRA, M. C. B.; NUNES, Y. R. Estudos sinecológicos sobre a candeia (*Vanillosmopsis erythropappa* Schult. Bip) na estação ecológica do Tripui, Ouro Preto, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 301-306, 1997.

SAVASTANO JUNIOR, H.; DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras**: correlação entre a zona de transição fibra matriz e propriedades mecânicas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1994.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; DAVIDE, A. C.; MELLO, J. M. de; ACERBI JUNIOR, F. W. **Manejo sustentável da candeia *Eremanthus erythropappus* e *Eremanthus incanus***. Lavras: UFLA-FAEPE, 2002. 350 p. Relatório técnico científico.

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**, v. 16, 2002. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br/sciencedirectonline>>. Acesso em: 10 out. 2007.

SOUZA, M. R. **Durability of cement-bonded particle board made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 f. Thesis (Doctor of Philosophy) - University of Idaho, Idaho, 1994.

VIROC. **Características viroc**. Disponível em: <<http://www.viroc.pt>>. Acesso em: 25 out. 2007.