

Produção do compósito madeira e casca de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake e cimento Portland

Wood and bark composite production of
Eucalyptus urophylla and cement Portland

Gilmar Correia Silva
João Vicente de Figueiredo Latorraca
Divino Eterno Teixeira
Geraldo Bortoletto Júnior

RESUMO: Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de painéis de *E. urophylla*, variando-se a relação madeira-casca com o cimento Portland. Os resultados apontaram que painéis produzidos com até 10% de casca, apresentam resultados equivalentes aos painéis produzidos com 100% de partículas de madeira, para as propriedades de LI e MOE. Esta percentagem chega a 25% para as demais propriedades. Os painéis produzidos com 100% de casca apresentaram a menor performance em todas as propriedades avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: Pannel cimento-madeira, *Eucalyptus urophylla*, casca de madeira

ABSTRACT: It was evaluated the physical and mechanical properties of panels of *E. urophylla* with varying proportions of wood-bark with the Portland cement. The results showed that panels produced with up to 10% of bark presented equivalent results of panels produced with 100% of wood particles, for properties of internal bond and MOE. This percentage is as much as 25% for the other properties. The panels produced with 100% of bark presented the lower properties in all of the properties evaluated.

KEYWORDS: Cement-wood panel, *Eucalyptus urophylla*, Wood bark

INTRODUÇÃO

No contexto industrial de produtos florestais, tem-se observado, atualmente, um crescimento contínuo na produção e diversidade de produtos economicamente acessíveis, incluindo aí os variados tipos de painéis.

A produção inicial de painéis de cimento-madeira de acordo com Latorraca (2000), utilizava partículas classificadas como excelsior (EUA). Esses painéis apresentavam maior resistência à água em relação àqueles produzidos com magnésita. Beraldo (1994) cita que os compósitos à base de cimento-madeira, tornaram-se de interesse comercial logo após a Segunda Guerra Mundial, onde a partir do desenvolvimento do processo tecnológico para produção de aglomerado foi considerado aplicável também para a produção de painéis cimento-madeira.

Os painéis cimento-madeira são formados basicamente por partículas de madeira, cimento (Portland) e água. Outros componentes são adi-

cionados visando maximizar a qualidade do processo e das propriedades do produto. Em virtude de problemas que podem ser enfrentados durante o processo, principalmente aqueles oriundos da inibição do material vegetal com a cura do cimento, vários estudos são realizados para se determinar a melhor maneira de se conduzir quando se deseja produzir de painéis cimento-madeira.

O maior problema na produção do compósito cimento-madeira é que a adesão entre os compostos depende do material vegetal que se está utilizando. Normalmente, a madeira proveniente de coníferas é a mais utilizada na manufatura dos painéis, exatamente por apresentarem propriedades, principalmente químicas, que as tornam mais compatíveis com o cimento, não causando inibição da pega e do endurecimento (HACHMI e CAMPBELL, 1989). Por outro lado, resultados de pesquisas (MANZANARES et al., 1991; LATORRACA, 1996) apontam para a utilização de espécies de folhosas, dentre elas o eucalipto.

A preocupação em desenvolver sistemas de produção sustentáveis é atualmente uma imposição prática, política e sócio-ambiental. Com isso, o setor nacional da indústria florestal tem sido apontado como um dos mais competitivos internacionalmente, tendo em suas florestas plantadas, a matéria-prima necessária para o desenvolvimento das atividades no parque industrial. Deve-se levar em conta também que o uso de resíduos nestas atividades podem ser transformados em produtos econômica e ambientalmente viáveis (RECH, 2002).

A utilização de resíduos (casca) do híbrido urograndis (*E. urophylla* x *E. grandis*) na produção de painel cimento-madeira foi considerado satisfatório por Del Menezzi e Souza (2002).

Antes da descoberta do cimento Portland, utilizavam-se grandes quantidades de cimento natural, obtido a partir da queima de uma mistura natural de calcário e argila. Como esta mistura ocorria na natureza sem qualquer intervenção humana, as propriedades deste cimento variavam muito.

A Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (1997) destaca que há uma grande variedade de cimentos oferecidos no mercado. De acordo com a característica do material ele é inserido numa determinada classe. O cimento Portland é um material aglomerante composto por diversos materiais inorgânicos, tendo o clínquer como principal componente, juntamente com as adições (gesso, escórias, materiais carbonáticos e pozolânico) que promovem a produção de diferentes tipos de cimento (ABNT, 1990).

A água é responsável pela mistura das partículas com o cimento, pelas reações de hidratação que ocorrem no cimento e na dissolução dos aditivos. A água adicionada na composição dos painéis deve ser livre de componentes inibidores da cura do cimento. A presença de poros nos painéis influencia bastante a sua resistência. Esses poros são formados durante a evaporação, no processo de cura dos painéis, quando a água é adicionada acima da quantidade necessária (SIMATUPANG et al., 1978). Desta forma, é adequado manter uma mínima quantidade necessária de água durante a composição dos painéis.

Os aditivos atuam de modo a diminuir ou aumentar a quantidade de água utilizada na composição global do aglomerante, pois se tratam de substâncias químicas que fluidificam o cimento.

Com isso, a quantidade de água pode ser variada resultando em produtos finais que apresentam porosidade e propriedades mecânicas diversificadas (COIMBRA e MORELLI, 1999).

O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades dos painéis produzidos a partir de diferentes composições de partículas de madeira e casca de *E. urophylla* S. T. Blake com o cimento Portland tipo ARI.

METODOLOGIA

Matéria-Prima

Cinco árvores da espécie *E. urophylla* foram coletadas em um povoamento da FLONA Mário Xavier – IBAMA, localizada no município de Seropédica, RJ. As árvores foram traçadas em toras de 2 metros de comprimento e enviadas ao Laboratório de Painéis de Madeira do DPF/IF da UFRRJ. O aglutinante empregado na composição foi o cimento Portland ARI e o aditivo químico o Cloreto de cálcio (CaCl_2).

Parâmetros do Processo

Foram utilizados os seguintes parâmetros no estudo das propriedades dos painéis:

- Relação madeira-cimento = 1:2,75
- Relação água-cimento = 1:2,50 (40% de água com base no peso do cimento)
- Aditivo químico = 4% (com base no peso do cimento)
- Massa específica nominal do painel = 1,25 g/cm³
- Dimensão do painel = 40 cm x 40 cm x 1,6 cm de espessura
- Parâmetros de prensagem:
 - pressão específica = 40 kg/cm²
 - temperatura de prensagem = ambiente
 - tempo de grampeamento = 24 h
 - acondicionamento (20 ± 1°C e a 65 ± 5%) = 27 dias

Manufatura dos Painéis

As seguintes fases foram seguidas para manufatura dos painéis: determinação da densidade básica da madeira, cálculo dos compostos do painel, obtenção e preparação das partículas, formação do colchão e prensagem das chapas e acondicionamento.

Determinação da densidade básica da madeira

Através dos discos extraídos foram coletadas amostras para determinação da densidade básica da madeira. Para tanto, foram retirados discos a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura total do tronco e um disco extra no diâmetro à altura do peito (DAP). O método empregado na determinação do volume das amostras foi o da balança hidrostática (VITAL, 1984).

Cálculo dos compostos do painel

A metodologia utilizada para se efetuar os cálculos dos compostos de cada painel, foi a sugerida por Souza (1994). Os parâmetros necessários para o cálculo de um painel são: comprimento, largura e densidade do painel, conteúdo de umidade da madeira (u.m.), taxa de madeira-cimento, taxa de água-cimento, e taxa de água de hidratação-cimento. Este último parâmetro é fixo, ou seja, igual a 0,25 para cimento Portland. A água de hidratação não é adicionada ao sistema durante a mistura, mas é a quantidade de água que está vinculada ao cimento após a hidratação. Ela é considerada no cálculo porque será parte do painel após a cura. Foi adicionado ao cálculo 6% sobre o peso do material para compensação de possíveis perdas.

- Determinação do peso da chapa (PC):

Equação 1

$$PC = \frac{\text{Comprimento} \times \text{Largura} \times \text{Espessura} \times \text{Peso Específico (seco)}}{\text{Perdas}}$$

- Determinação da quantidade de cimento e madeira para chapa seca:

Equação 2

$$\text{cimento (g)} = \frac{PC}{(1 + \text{taxa madeira: cimento} + \text{taxa água hidratação: cimento})}$$

Equação 3

$$\text{madeira (g)} = \frac{(PC \times \text{taxa madeira: cimento})}{(1 + \text{taxa madeira: cimento} + \text{taxa água hidratação: cimento})}$$

- Cálculo da quantidade de material para mistura:

Equação 4

$$\text{CIMENTO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(1 - \frac{\text{aditivo (100\%)}}{100}\right)$$

Equação 5

$$\text{MADEIRA (g)} = \text{madeira (g)} \times \left(1 + \frac{\text{umidade da madeira (100\%)}}{100}\right)$$

Equação 6

$$\text{ADITIVO (g)} = \text{cimento (g)} \times \left(\frac{\text{aditivo (100\%)}}{100}\right)$$

Equação 7

$$\text{ÁGUA (g)} = \frac{\text{taxa água: cimento} \times \frac{\text{u.m. (\%)}}{100}}{\text{cimento (g)} + [\text{madeira} \times (0,3 - \frac{\text{u.m. (\%)}}{100})]}$$

Equação 8

$$\text{PESO TOTAL (g)} = \text{CIMENTO} + \text{MADEIRA} + \text{ADITIVO} + \text{ÁGUA}$$

- Cálculo da quantidade de material que foi para prensagem (MP):

Equação 9

$$MP = \text{PESO TOTAL} \times \left(\frac{1 - \text{perda}}{100}\right)$$

Obtenção e preparo das partículas de madeira e da casca

As toras de 2,0 m depois de descascadas e seccionadas em discos de 3,6 cm de espessura foram reduzidas em blocos com as dimensões compatíveis com a capacidade do gerador de partículas. Posteriormente, as partículas de madeira geradas no gerador de partículas foram moídas em moinho de martelo. Já a casca, foi reduzida a pequenos e variados tamanhos e moídas diretamente no moinho de martelo. A secagem das partículas tanto da casca como da madeira foi realizada ao ar livre até alcançar a umidade de equilíbrio. Para efeito do cálculo da quantidade de água de cada painel, foi necessário medir o teor de umidade das partículas (madeira e casca), que foi realizado pelo método da pesagem de amostras úmida e seca em estufa.

Utilizando-se uma peneira mecânica, foi obtida a fração granulométrica cujas partículas passaram pela peneira de 2,08 mm de abertura e ficaram retidas na peneira de 0,61 mm de abertura.

Formação do colchão e prensagem das chapas

Devidamente calculados e pesados, o cimento, as partículas de madeira e/ou casca, água

e o aditivo químico, foram misturados em uma betoneira de eixo inclinado. Inicialmente foram colocadas as partículas de madeira pulverizadas lentamente com a água contendo o aditivo químico diluído. Em seguida foi adicionado o cimento sobre as partículas umidificadas até homogeneização da mistura.

Retirada da betoneira, a massa de cada painel foi devidamente pesada, separada e distribuída aleatoriamente na caixa formadora do colchão com as dimensões de 40 cm x 40 cm. Esta caixa foi colocada sobre uma chapa de alumínio untada com óleo mineral de baixa viscosidade para facilitar a retirada do painel após sua prensagem e grampeamento. Retirando-se a caixa, duas barras de ferro de 16 mm foram colocadas sobre a chapa para o controle da espessura final. Somente aí é que foi sobreposta a outra chapa de alumínio também untada com óleo. Já carregada com o painel e os aparatos para o grampeamento, a prensa foi fechada a uma pressão específica de 40 kg/cm². Após grampear os painéis, transcorreu-se a fase de restrição por grampeamento. Passadas 24 horas, os grampos foram retirados e os painéis identificados e encaminhados para fase de acondicionamento.

Acondicionamento

Os painéis foram acondicionados numa câmara climática com condições de temperatura e umidade relativa controladas (20 ± 1°C e a 65 ± 5%). Para todos os tratamentos, do início da prensagem até os ensaios dos corpos-de-prova transcorreram 28 dias.

Procedimentos dos Testes Mecânicos e Físicos dos Painéis

Após o acondicionamento, os painéis foram esquadrejados com o uso de uma serra circular

simples, retirando-se 2,0 cm das extremidades para evitar os efeitos de borda, sendo em seguida retirados os corpos-de-prova de cada painel.

As propriedades dos painéis foram avaliadas de acordo com a norma americana ASTM D-1037-28 e ASTM D-1037-100 (1982) e a norma alemã 52362 (DIN, 1982), sendo adotados os seguintes ensaios:

Propriedades Mecânicas

- Flexão estática (FE) - MOE E MOR: teste de acordo com a norma DIN 52362
- Ligação interna (LI): teste de acordo com a norma ASTM D-1037-28

Propriedades Físicas

- Inchamento em Espessura (IE): teste de acordo com a norma ASTM D-1037-100
- Absorção de água (AA): teste de acordo com a norma ASTM D-1037-100

Para obtenção da densidade de cada painel, determinou-se, inicialmente, a densidade de cada corpo-de-prova, obtendo-se desta forma, uma densidade média das dimensões e pesos para cada um deles por tratamento.

A densidade de cada painel foi obtida através da determinação da densidade calculada para cada corpo-de-prova. Assim, a densidade de cada painel foi obtida através da média de 10 corpos-de-prova.

Delineamento Experimental

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado variando-se a relação madeira-casca, conforme apresentado na Tabela 1. Foram analisados oito tratamentos, com três repetições por tratamento, totalizando 24 painéis produzidos.

Tabela 1. Descrição dos componentes e suas relações na produção dos painéis de cimento-madeira. (Treatments of the wood cement-bonded particleboards.)

Tratamento	Agregado (%)		Relação madeira-casca	Repetição
	Madeira	Casca		
T ₁	100	0	1 : 0	3
T ₂	95	05	0,95 : 0,05	3
T ₃	90	10	0,90 : 0,10	3
T ₄	85	15	0,85 : 0,15	3
T ₅	80	20	0,80 : 0,20	3
T ₆	75	25	0,75 : 0,25	3
T ₇	50	50	0,50 : 0,50	3
T ₈	0	100	0 : 1	3

Análise Estatística

Os resultados obtidos das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foram avaliados através da análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey todas as vezes que a hipótese de nulidade foi rejeitada, para as diferentes composições madeira-casca e para todos os testes: flexão estática, ligação interna, inchamento em espessura e absorção de água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade Básica da Madeira

A densidade básica obtida para o *E. urophylla* foi de 0,44 g/cm³ aos cinco anos de idade. Este valor influencia na quantidade de partícula empregada na formação do painel, pois está diretamente relacionado ao seu peso. A densidade do material promoveu uma boa formação do colchão, resultando numa adequada compactação do compósito durante a prensagem. Esta característica não é observada para madeiras com densidades mais elevadas, que resultam em um baixo grau de compactação e como consequência geram um painel de baixa qualidade. Sorfa e Bongers (1982), destacam que além da composição do painel, a densidade apresenta alta influência na resistência de compósitos cimento-madeira.

Densidade dos Painéis

A Tabela 2 mostra os valores médios das densidades aparentes dos painéis obtidos em cada tratamento. De acordo com a ANOVA, as médias foram consideradas estatisticamente iguais. O controle em laboratório, dado durante a produção dos painéis, proporcionou a homogeneidade das densidades, e conseqüentemente promoveram baixos coeficientes de variação por tratamento.

Propriedades Mecânicas

Ligação interna (LI)

Os valores de LI são apresentados na Tabela 3. Os maiores valores médios foram obtidos para os tratamentos com até 10% de adição de casca (Tratamentos T₁, T₂ e T₃), os quais não apresentaram diferença estatística. O tratamento que apresentou menor performance foi o T₈ com 3,34 kgf/cm². Os tratamentos T₄, T₅, T₆ e T₇ não apresentaram diferença estatística entre si.

Tabela 2. Densidade aparente média dos painéis de cimento-madeira para cada tratamento. (Average density of the wood cement-bonded particleboards)

Tratamento	Densidade aparente (g/cm ³)	CV (%)
T ₁	1,339 a	0,60
T ₂	1,345 a	0,36
T ₃	1,345 a	0,57
T ₄	1,340 a	0,66
T ₅	1,350 a	0,25
T ₆	1,339 a	0,46
T ₇	1,350 a	0,37
T ₈	1,336 a	0,50

Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 95 % de probabilidade.

CV = Coeficiente de variação.

Observa-se que até 10% de casca não gerou grandes diferenças em valor absoluto, ao passo que, aumentando-se esta quantidade há uma redução da resistência à colagem do painel. Tal característica foi mais pronunciada no tratamento T₈ composto por 100% de casca. O tratamento T₅ composto por 20% de casca, não apresentou diferença significativa dos tratamentos T₂ e T₃, não sendo observado o mesmo comportamento para o tratamento T₄ com 15% de casca.

Latorraca (2000) trabalhando com a mesma espécie sem a adição de casca, encontrou valor médio para LI 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 LI de 5,00 kgf/cm² (VI-ROC, 2004). Del Menezzi e Souza (2002), pesquisando a adição de casca do híbrido urograndis (*E. urophylla* x *E. grandis*) na formação do compósito, concluíram que a adição de casca elevou a resistência da LI de 2,88 kgf/cm² para 4,31 kgf/cm².

Notou-se que a adição de casca tendeu a reduzir a resistência da LI dos painéis. A adição de casca favoreceu o aumento da área específica, isto porque o processo mecânico para geração da mesma, resultou na formação de uma partícula de menor granulometria, o que gerou uma maior área requerida para o recobrimento pela matriz do cimento. O aumento dessa área, para a mesma proporção de cimento em todos os tratamentos, afetou, provavelmente, as ligações físicas entre a matriz do cimento e o agregado, e conseqüentemente interferiu nas propriedades mecânicas dos painéis.

Tabela 3. Valores Médios de Ligação Interna (LI) dos painéis de cimento-madeira. (Average values of Internal Bonding (IB) of the wood cement-bonded particleboards)

Tratamento	LI (kgf/cm ²)	CV (%)
T ₁	6,98 a	7,75
T ₂	6,63 ab	15,74
T ₃	6,47 abc	10,76
T ₄	5,70 d	14,30
T ₅	6,12 bcd	10,38
T ₆	5,78 cd	12,46
T ₇	5,54 d	15,03
T ₈	3,34 e	15,18

Médias seguidas por letras distintas mostram diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

CV = Coeficiente de variação.

Módulo de elasticidade (MOE)

Os valores médios de MOE são apresentados na Tabela 4. Estes indicam maior rigidez para os tratamentos T₁, T₂ e T₃ com valores absolutos de 32.907 kgf/cm², 31.028 kgf/cm² e 31.009 kgf/cm², respectivamente e sem diferença estatística. Os tratamentos T₄, T₅ e T₆ não diferem estatisticamente entre si. Os tratamentos T₇ e T₈ compostos por 50% e 100% de casca, respectivamente, resultaram em menores valores absolutos, não apresentando diferenças estatísticas significativas entre eles.

As médias encontradas para os três primeiros tratamentos são compatíveis àquelas encontradas na literatura. Souza (1994) obteve uma média de 34.670 kgf/cm² em painéis produzidos com partículas de *Populus sp* e *Larix laricina*. Os valores encontrados neste trabalho são superiores àqueles encontrados por Lee (1984), de 15.784 kgf/cm², trabalhando com uma espécie de pinus do sul dos EUA. Olorunnisola e 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 pela indústria internacional, apresentam valores de MOE em torno de 30.000 kgf/cm² (VALENZUELA, 1989).

A diminuição da resistência nos tratamentos com maior percentual de casca pode ser atribuída também à mesma proporção de cimento utilizada em todos os tratamentos. O fato da casca apresentar uma densidade menor do que a ma-

deira gerou um volume de partículas da mesma maior do que da madeira. Isto, associado à menor granulometria das partículas da mesma, possivelmente fez com que a matriz do cimento recobrisse uma menor área específica de partículas, o que ocasionou uma ligação frágil entre este material e a matriz do cimento.

Módulo de ruptura (MOR)

Os valores médios de MOR são apresentados na Tabela 4. Estatisticamente não houve diferença significativa entre os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ e T₆. O maior valor absoluto, foi observado para o tratamento T₁, com 211,78 kgf/cm². Os tratamentos T₇ e T₈ não diferiram estatisticamente, apresentando menores valores absolutos em relação aos demais tratamentos (107,46 kgf/cm² e 96,62 kgf/cm², respectivamente). Os resultados mostram que a adição de até 25% de casca na confecção da chapa, não apresenta diferença significativa em termos de resistência à ruptura.

Valores de MOR encontrados em literatura variam de 39,9 kgf/cm² para espécies de pinus dos EUA (LEE, 1984) e de 36,0 kgf/cm² a 69,6 kgf/cm² como obtidas por Latorraca (2000) trabalhando com diferentes granulometrias de partículas de madeira e diferentes espécies de eucalipto. Olorunnisola e Adefisan (2002) encontraram valores de MOR em painéis com partículas de cana variando de 50,0 kgf/cm² a 160,0 kgf/cm². Painéis cimento-madeira produzidos comercialmente apresentam valores de MOR em torno de 110 kgf/cm² (VIROC, 2004).

Tabela 4. Valores médios de Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis de cimento madeira.

(Average values of the Modulus of Elasticity (ME) and Modulus of Rupture (MR) of the wood cement-bonded particleboards)

Tratamento	MOE (kgf/cm ²)	CV (%)	MOR (kgf/cm ²)	CV (%)
T ₁	32.907 a	8,25	211,78 a	5,24
T ₂	31.028 a	9,33	206,23 a	1,81
T ₃	31.009 a	13,70	204,13 a	16,84
T ₄	20.306 bc	12,08	173,64 a	12,19
T ₅	21.611 b	8,77	197,78 a	2,04
T ₆	19.460 bc	10,46	175,17 a	15,28
T ₇	15.885 cd	14,47	107,46 b	19,04
T ₈	13.421 d	12,47	96,62 b	34,10

Médias seguidas por letras distintas mostram diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

CV = Coeficiente de variação.

Propriedades Físicas

Inchamento em espessura (IE) em 2 horas

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios obtidos do ensaio de Inchamento em Espessura (IE) após 2 h de imersão dos corpos-de-prova em água.

De acordo com o teste de médias, não houve diferença significativa entre os tratamentos T₁ e T₂, sendo que o tratamento T₁ gerou menor variação dimensional relativa (0,68%), enquanto o tratamento T₆ apresentou maior variação dimensional com 1,25%. Os tratamentos T₂ e T₃ não diferem estatisticamente, assim como os tratamentos T₄, T₅, T₆ e T₈. Relacionando com os dados encontrados na literatura para o mesmo tipo de painel, assim como outros (aglomerado, OSB, MDF), esses valores podem ser considerados excelentes. Latorraca (2000) encontrou para a mesma espécie 1,28% para IE 2 h e outras espécies variaram de 1,64% a 1,75%. Comercialmente, a produção de painéis cimento-madeira apresenta IE após 2 h de exposição em água de 1,00% (VI-ROC, 2004).

Inchamento em espessura (IE) em 24 horas

A Tabela 5 mostra os valores médios de IE 24 h. De acordo com a análise de variância não houve diferença significativa entre os tratamentos para a propriedade analisada. Entretanto, o tratamento T₁ apresentou menor valor numérico de variação dimensional (1,46%) e, a maior variação foi observada no tratamento T₇ e T₈ com 1,56%. Latorraca (2000) obteve 1,64% de variação dimensional para painéis produzidos com partículas de madeira da mesma espécie, e valores variando de 1,73% a 2,12% para outras espécies.

A propriedade de inchamento em espessura, decorrente de variações ocorridas durante a exposição em água é um dos parâmetros mais importantes para avaliação do comportamento dos painéis quando da sua utilização em ambientes que promovem o contato com a umidade. Essas variações ocorrem devido a higroscopicidade do material vegetal, uma vez que, em contato com a água há expansão das partículas resultando em liberação das tensões do painel produzidas durante a prensagem do mesmo.

Comercialmente, o valor máximo de variação aceitável, adotado para este material é em torno de 1,50% a 1,80%.

Tabela 5. Valores médios de Inchamento em Espessura 2 h e 24 h (IE 2 h e IE 24 h) dos painéis de cimento-madeira.

(Average values of Thickness Swelling 2 h and 24 h of the wood cement-bonded particleboards)

Tratamento	IE 2H (%)	CV (%)	IE 24H (%)	CV (%)
T ₁	0,68 a	14,38	1,46 a	3,44
T ₂	0,84 ab	13,28	1,49 a	4,03
T ₃	0,96 b	10,25	1,50 a	4,16
T ₄	1,12 cd	9,09	1,51 a	3,26
T ₅	1,15 cd	16,05	1,53 a	5,54
T ₆	1,25 d	4,26	1,50 a	3,48
T ₇	1,05 c	5,42	1,56 a	3,55
T ₈	1,08 cd	4,08	1,56 a	1,20

Médias seguidas por letras distintas mostram diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

CV = Coeficiente de variação.

Absorção de água (AA) em 2 horas

A Tabela 6 mostra os valores médios de AA 2 h. De acordo com a análise de variância houve diferença significativa entre os tratamentos. Verifica-se que os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅ não apresentaram diferença estatística entre si. O menor valor médio de absorção, entretanto, foi do tratamento T₁ com 5,61%. Os tratamentos T₄, T₅, T₆ e T₇, não diferiram estatisticamente, e o tratamento T₈ apresentou diferença significativa dos demais tratamentos, apresentando o maior valor relativo (9,64%).

A estrutura que forma a matriz do compósito, aparentemente resultou em maior absorção de água pelo tratamento T₈, ou seja, a casca devido às suas características (porosidade, permeabilidade e superfície específica) associada à menor cobertura pela matriz do cimento, promoveu maior absorção de água. Apesar disso, o maior valor relativo encontrado para o tratamento T₈ ainda é inferior aos valores encontrados por Latorraca e Iwakiri (2000).

Absorção de água (AA) em 24 horas

Os valores médios de AA 24 h são apresentados na Tabela 6.

Os tratamentos T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅ apresentaram valores médios de absorção de 8,72%, 9,98%, 10,40%, 10,71% e 10,35% não diferindo estatisticamente. Os tratamentos T₂, T₃, T₄, T₅, T₆ e T₇ não apresentaram diferença significativa, assim como os tratamentos T₆, T₇ e T₈. Este último apresentou maior valor médio de absorção

(12,99%). A mesma proporção de cimento em painéis produzidos com partículas de diferentes matérias-primas (casca e madeira) permitiu este comportamento. SIMATUPANG et al. (1978) já afirmaram em outros estudos que tal evento afeta a resistência dos painéis.

Del Menezzi e Souza (2002), utilizando partículas de madeira da mesma espécie, obtiveram a média de 38% de absorção após 24 h, ou seja, uma variação elevada em relação a encontrada neste trabalho.

Assim como a variação dimensional em espessura, a propriedade de absorção revela o comportamento do painel em contato com a umidade e também seria um parâmetro útil na avaliação final da composição de produtos com possíveis exposições à umidade.

Tabela 6. Valores médios de Absorção de Água 2 h e 24 h (AA 2 h e AA 24 h) dos painéis de cimento-madeira. (Average values of Water Absorption 2 h and 24 h of the wood cement-bonded particleboards)

Tratamento	AA 2H (%)	CV (%)	AA 24H (%)	CV (%)
T ₁	5,61 a	11,22	8,72 a	10,98
T ₂	5,62 a	20,42	9,98 ab	8,44
T ₃	5,78 a	10,71	10,40 ab	5,09
T ₄	6,23 ab	11,72	10,71 ab	7,11
T ₅	6,48 ab	11,76	10,35 ab	7,16
T ₆	7,24 b	17,03	11,64 bc	11,02
T ₇	7,10 b	14,54	11,96 bc	8,77
T ₈	9,64 c	20,47	12,99 c	16,38

Médias seguidas por letras distintas mostram diferença estatística ao nível de 95 % de probabilidade de acordo com o teste de Tukey.

CV = Coeficiente de variação.

CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos neste experimento pode-se concluir que:

- A adição de até 10% de casca na composição do painel não promove diferença em relação àqueles produzidos com 100% de madeira para as propriedades de LI, MOE e IE 2h. Esta proporção chega a 20 % para AA 2 h e 25 % para MOR;
- Em condições extremas de exposição à água, a adição da casca, em todos os níveis, não proporciona efeitos significativos na variação em espessura dos painéis;
- O aumento da porcentagem de casca no painel, tende a reduzir o valor das propriedades mecânicas e aumentar o valor das propriedades físicas. Porém, uma propriedade importante de resistên-

cia, o MOR, não apresenta diferença significativa até o nível de adição de 25% de casca;

- Em todas as propriedades, os painéis compostos por 100% de madeira apresentaram uma tendência na geração de maiores valores numéricos nas propriedades mecânicas e menor variação dimensional em espessura e absorção de água;
- Os resultados obtidos para as propriedades dos painéis cimento-madeira indicam a viabilidade do uso da casca como matéria prima na produção desses painéis.

AUTORES

Gilmar Correia Silva é Engenheiro Florestal e Mestre em Ciências Ambientais e Florestais pela UFRRJ. E-mail: gcorreias@yahoo.com.br

João Vicente de Figueiredo Latorraca é Professor Doutor do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ - Caixa Postal 74527 - Seropédica, RJ - 23851-970 - E-mail: latorraca@ufrj.br

Divino Eterno Teixeira é Pesquisador, PhD. do Laboratório de Produtos Florestais IBAMA - SCEN Setor de Clubes Esportivos Norte - Brasília, DF - 70818-900 - E-mail: Divino.teixeira@ibama.gov.br

Geraldo Bortoletto Júnior é Professor Doutor do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP - Caixa Postal 9 - Piracicaba, SP - 13400-970 - E-mail: gbortoll@carpa.ciagri.usp.br

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1037-99: standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials.** Philadelphia, 1999. v. 04.10.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. Guia básico de utilização do cimento portland de alto-forno. **Boletim Técnico. ABCP**, São Paulo, n.106, p.1-22, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial.** Rio de Janeiro, 1990. 5 p.

BERALDO, A.L. **Généralisation et optimisation de la fabrication d'un composite biomasse végétale-ciment à variations dimensionnelles limitées vis à vis des variations de l'humidité.** 1994. 223 p. Tese (Doutorado em Ciências da Madeira). Université de Nancy I, Nancy, 1994.

COIMBRA, M.A.; MORELLI, M.R. Desenvolvimento de argamassas microporosas para a construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v.45, n.295, p.203-206, 1999.

- DEL MENEZZI, C.H.S.; SOUZA, M. Influence of bark on properties of wood-cement particleboards made from eucalypt. In: AICHER, S., (Ed.). **Proceedings of the International Conference on Wood and Wood Fiber Composites**, 2002. Stuttgart, 2002. p.423-428.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 52362: Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. 1982. 40 p. In: HACHMI, M.; CAMPBELL, A.G. **Wood-cement chemical relationships**. In: INORGANIC BONDED WOOD AND FIBER COMPOSITE MATERIALS: Session II: Raw Material Considerations. 1989. v.1, p.43-47.
- LATORRACA, J.V.F. **Estudo da viabilidade do uso da espécie *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis de madeira-cimento**. 1996. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1996.
- LATORRACA, J.V.F. ***Eucalyptus* spp. na produção de painéis de cimento-madeira**. 2000. 191 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- 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 chapas de madeira-cimento. **Revista Cerne**, Lavras, v.6, n.1, 2000.
- LEE, A.W.C. Physical and mechanical properties of cement bonded southern pine excelsior board. *Forest Products Journal*, Madison, v.34, n.4, p.30-34, 1984.
- MANZANARES, K.; VELAZQUEZ, D.; VALDES, J.L.; MARTINEZ, O.; MORALES, Y.F. Aptitud del material de raleo de tres especies forestales para formar aglomerados com cemento. **Revista Baracoa**, v.21, n.1, p.59-73, 1991.
- 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.
- RECH, C. Design inovador destaca piso laminado. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.12, n.66, p.73-75, 2002.
- SIMATUPANG, M.H.; SCHWARZ, G.H.; BRÖKER, F.W. Small scalle plants for the manufacture of mineral-bonded wood composites. In: **WORLD FORESTRY CONGRESS**, 8., Jakarta, 1978. **Special paper**. Jakarta, 1978. 21 p.
- SORFA, P.; BONGERS, J. **Wood-cement composite building units: part 1**. Pretoria: National Timber Research Institute, 1982. 24 p. (CSIR Special Report HOUT 270)
- SOUZA, M.R. **Durability of cement-bonded particleboard made conventionally and carbon dioxide injection**. 1994. 123 p. Tese (Doctor of Philosophy) - University of Idaho. Moscow, 1994.
- VALENZUELA, W. **Contribution a la determination de l'aptitud d'essences forestieres pour la fabrication de panneaux de fibro-ciment**. Gembloux: Faculté des Sciences Agronomiques, 1989. 134 p.
- VIROC. **Características viroc**. Disponível em: <<http://www.viroc.pt>>. Acesso em: 10 jan. 2004.
- VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico SIF**, Viçosa, n.1, p.21, 1984.