

USO DE *Bambusa tuldooides* E *Eucalyptus grandis* PARA CONFECCÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

USE OF *Bambusa tuldooides* AND *Eucalyptus grandis* FOR MANUFACTURING PARTICLEBOARDS

Wesley Wilker Corrêa Morais¹ Clovis Roberto Haselein² Felipe Susin³ Magnos Alan Vivian⁴ Joel Telles de Souza⁵

RESUMO

Painéis formados de bambu podem ser vantajosos quando produzidos com mix de algum tipo de madeira. No entanto, são escassos os estudos utilizando a espécie *Bambusa tuldooides* que visem produzir painéis uniformes ou combinados com eucalipto. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar os atributos físico-mecânicos dos painéis confeccionados por distintas percentagens de *Bambusa tuldooides* e *Eucalyptus grandis*. Foram produzidos 36 painéis constituídos pela mistura de 0, 25, 50, 75 e 100% (massa seca). Os testes físicos foram umidade das amostras, massa específica, absorção água e o inchamento da espessura. Os testes mecânicos foram extração de parafuso, flexão e tração (ASTM 1037, 1999). Os resultados foram analisados por correlação e regressão. Os painéis apresentaram características mecânicas inferiores aos desempenhos mínimos estipulados pela norma. Conclui-se que painéis uniformes de bambu resultaram desempenho superior nos testes físicos aos do eucalipto, que normalmente são utilizados no setor industrial, entretanto, ao aumentar a quantidade de bambu reduziu-se o desempenho nos testes mecânicos.

Palavras-chave: bambu; ureia-formaldeído; testes físico-mecânicos; ASTM 1037.

ABSTRACT

The bamboo panels particleboards can be advantageous when produced with a mixture of some kinds of wood. However, there are few studies using *Bambusa tuldooides* for the production of homogeneous particleboards or in combination with wood particles. Therefore, the aim of this study was to evaluate the physical-mechanical quality of particleboard made of different percentages of *Bambusa tuldooides* and *Eucalyptus grandis*. To do so, 36 panels were produced composed of a mixture of 0, 25, 50, 75 and 100% of dry matter. The tests realized were moisture, mass density, swelling thickness and water absorption. The mechanical tests were bending, internal bond and screw withdrawal (ASTM 1037, 1999). The results submitted to the correlation test and analyzed by regression. The panels did not get the minimum values of the standards (ANSI A 208.1, 1987) for mechanical tests. It is concluded that the homogeneous bamboo panels obtained superior performance in physical tests than the eucalyptus panels, which are usually used in the industrial sector. However, the insertion of bamboo particles impaired the performance of the panels in the mechanical tests.

Keywords: bamboo; urea formaldehyde; physical-mechanical tests; ASTM 1037.

- 1 Engenheiro Florestal, MSc., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Roraima, Av. Senador Helio Campos, s/n, CEP 69373-000, Rorainópolis (RR), Brasil. wesley_eng@yahoo.com.br
- 2 Engenheiro Florestal, PhD., Professor Titular do Departamento de Ciências Florestais, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria (RS), Brasil. clovis.haselein@smail.ufsm.br
- 3 Engenheiro Florestal, MSc., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso, Av. Perimetral Rogério Silva, s/n, Jardim Flamboyant, CEP 78580-000, Alta Floresta (MT), Brasil. felipets_86@yahoo.com.br
- 4 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Ulysses Gaboardi, Km 3, CEP 89520-000, Curitibanos (SC), Brasil. magnos.alan@ufsc.br
- 5 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Rua Dirceu Giordani, 696, CEP 89820-000, Xanxerê (SC), Brasil. joeltelles@hotmail.com

Recebido para publicação em 29/06/2016 e aceito em 10/05/2017

INTRODUÇÃO

A madeira é uma das matérias-primas mais utilizada e apreciada para produzir painéis, por ser um recurso renovável, apresentar aspectos decorativos, fácil trabalhabilidade e pelo baixo consumo energético para sua obtenção dentre outras peculiaridades. Apesar disto, existem pesquisas para a combinação de materiais que apresentem características similares à madeira e que possam atribuir novas características desejáveis aos painéis produzidos.

Dentre os materiais possíveis, o bambu possui como diferencial quando comparado a outros materiais vegetais estruturais, sua alta produtividade, visto que em dois anos e meio após ter brotado do solo apresenta resistência mecânica estrutural (GHAVAMI, 1989). Ostapiv (2007) acrescenta que o bambu apresenta boa estabilidade dimensional na faixa em que a umidade varia de zero até a condição de saturação.

Além destes aspectos, o bambu pode ser cultivado em variados locais desde que possuam temperatura entre 8°C e 36°C, embora se desenvolvam melhor em regiões tropicais e subtropicais (TEIXEIRA, 2006). Nesse contexto, Oliveira (2006) afirma que todas as espécies que foram trazidas para o Brasil apresentaram boa adaptação. Estas espécies são pertencentes ao gênero *Bambusa* (*Bambusa vulgaris*, *Bambusa tuldoidea*, *Bambusa tulda*, *Bambusa nutans*, *Bambusa multiplex*, *Bambusa textilis*, *Bambusa maknoi*), *Dendrocalamus* (*Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus latiflorus*, *Dendrocalamus asper* e *Dendrocalamus strictus*) e *Phyllostachys* (*Phyllostachys aurea* e *Phyllostachys pubescens*).

Outro ponto positivo é a possibilidade de produzir painéis com os mesmos princípios e equipamentos utilizados na confecção de alguns tipos de painéis constituídos de madeira, a exceção é o compensado, que necessita de adaptações nos maquinários visando à segurança para a produção de taliscas (LÓPEZ, 2003). Os procedimentos para produzir painéis aglomerados consistem na formação de partículas, peneiragem, secagem, mistura das partículas com o adesivo, formação do colchão, prensagem a quente e o condicionamento dos painéis.

Para a adoção de bambu em painéis fazem-se necessários estudos das características físico-mecânicas que irão determinar a qualidade do produto e o uso eficiente das matérias-primas. Neste contexto, normalmente, os estudos avaliam a qualidade do painel por meio de testes físicos: massa específica; umidade; absorção água; inchamento da espessura e testes mecânicos: flexão; extração de parafuso e tração com especificações estabelecidas por normas, sejam nacionais ou internacionais.

No Brasil podem-se destacar os estudos feitos por Melo et al. (2015) que, com a utilização de distintas percentagens *Bambusa vulgaris* (bambu) e *Eucalyptus grandis* (madeira), observaram que a incorporação do bambu proporcionou uma redução significativa na qualidade para os parâmetros avaliados. Entretanto, os autores concluíram que é possível produzir painéis com características físico-mecânicas similares aos confeccionados exclusivamente de madeira, com a percentagem de bambu inferior a 50%. Arruda et al. (2011) observaram que painéis de *Guadua magna* (bambu) atenderam aos padrões mínimos para a comercialização. Stangerlin et al. (2011) notaram, em painéis, semelhança entre *Bambusa vulgaris* e *Eucalyptus grandis* na resistência ao ataque de fungos apodrecedores (*Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*).

Bambus em painéis podem ser vantajosos quando produzidos com algum tipo de madeira. Contudo, são escassos os estudos utilizando a espécie *Bambusa tuldoidea* que visem produzir painéis uniformes ou misturados com eucalipto. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade físico-mecânica dos painéis confeccionados por distintas percentagens de *Bambusa tuldoidea* e *Eucalyptus grandis*. Além deste, foi verificado o comportamento das massas específicas obtidas nos desempenhos físicos dos painéis.

MATERIAL E MÉTODO

Obtenção das partículas

Para o experimento foram desbastadas três árvores (*Eucalyptus grandis*) com 15 anos e 170 indivíduos (*Bambusa tuldoidea*) de três touceiras com, aproximadamente, três anos, ambos oriundos de

plantios localizados na Universidade Federal Santa Maria. Após a colheita, as árvores foram fracionadas em duas toras de 2,00 metros de comprimento cada, obtendo-se, após o desdobro, pranchas de cinco centímetros (espessura). As pranchas foram seccionadas perpendicularmente à grã e foram imersas em água até a saturação para a produção das partículas (Figura 1A). Os colmos foram cortados transversalmente com 1,7 metros de comprimento, após, obteve-se, na secção longitudinal, lascas de largura menores que cinco centímetros (Figura 1B).

Foi utilizado o método preconizado por Forest Products Laboratory - Madison (1956) na obtenção das Massas Específicas (ME). Foram utilizados três indivíduos de eucalipto e trinta indivíduos de bambu seccionados conforme o comprimento em cinco posições (1(0%), 2(25%), 3(50%), 4(75%) e 5(100%)). A ME de bambu e eucalipto foram estimadas pela média das secções correspondentes (cunhas e colmos, respectivamente) nos distintos indivíduos.

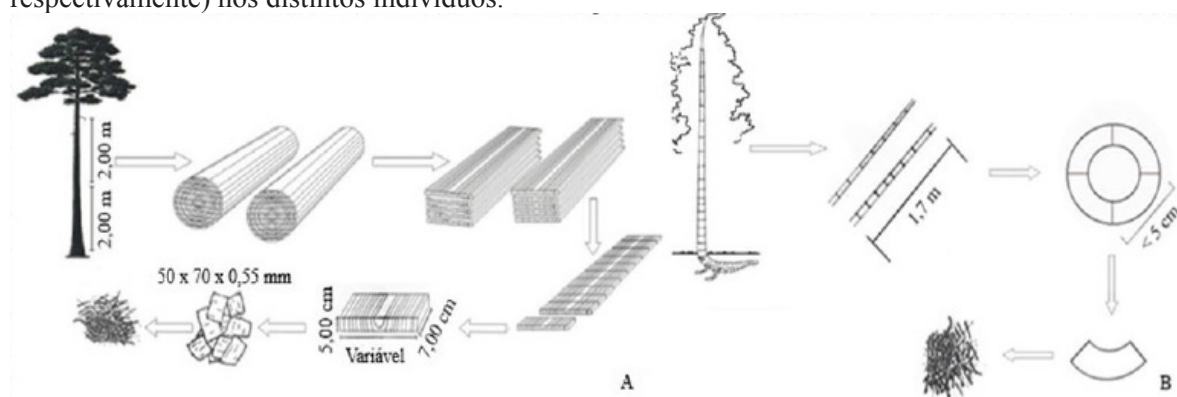


FIGURA 1: Produção de partículas eucalipto (A) bambu (B) ajustado de Melo e Del Menezzi (2010) e Morais et al. (2015), respectivamente.

FIGURE 1: Production of eucalyptus particles (A) bamboo (B) adjusted of Melo and Del Menezzi (2010) and Morais et al. (2015), respectively.

Com o auxílio de moinho, as lascas (bambu e eucalipto) foram trituradas, individualmente. O material resultante foi selecionado em peneiras com malha quadrada de 1,0 mm (exclusão pó) e por uma peneira com malha quadrada de 5,0 mm. Partículas que não foram retidas na segunda peneira foram selecionadas para produzir os painéis. O coeficiente esbeltez (CE) foi calculado, conforme metodologia adotada por Morais et al. (2015).

A seguir, o material triturado foi submetido à secagem a 50°C por 24 horas, na qual alcançou aproximadamente 3% umidade, adicionando-se a quantidade necessária de água, respeitando a condição estabelecida anteriormente. Os tratamentos analisados, em triplicata, foram cinco percentagens (0-100, 25-75, 50-50, 75-25 e 100-0%, respectivamente) bambu e eucalipto, 8% ureia-formaldeído (UF) base seca e densidade 0,65 g/cm³. Foram utilizados pistola de aplicação e tambor rotativo para a aplicação do adesivo e da água (até 12% de umidade). O controle de umidade da mistura foi realizado com a retirada de uma amostra e quando a variação era $\pm 2\%$ do estabelecido, a mistura era eliminada e repetia-se o processo. O colchão foi pesado em balança e possuía dimensões de 50 cm, 50 cm e 20 cm.

A prensagem foi realizada em prensa com 30 Kgf/cm² (3 MPA) de pressão, 180°C e 10 minutos de duração. Os painéis permaneceram dispostos em sala climatizada (65% umidade relativa e 20°C) e foram retirados após a massa permanecer constante. As amostras foram confeccionadas e levadas à câmara climatizada até a realização dos testes. Os procedimentos seguiram a metodologia utilizada por Morais et al. (2015).

Os testes avaliados foram de massa específica, umidade, absorção água, inchamento da espessura, flexão, extração de parafuso e tração (ASTM D 1037, 1999).

Foram verificadas as condicionantes da regressão dos dados obtidos, conforme Morais et al. (2015). Estes foram analisados pela correlação da percentagem bambu, massa específica da amostra e umidade para características físicas, assim como os desempenhos obtidos separadamente nos testes físico-mecânicos.

A elaboração da regressão linear foi realizada por *stepwise*, no qual a equação máxima testada para

os testes físicos foi elaborada utilizando-se as variáveis: percentagem bambu (B%); percentagem bambu elevado à segunda (B%²); massa específica da amostra (MEa); para os testes mecânicos foram percentagem bambu (B%); percentagem bambu elevado à segunda (B%²); massa específica da amostra (MEa).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características físicas das matérias-primas e dos painéis

A ME média foi para bambu 0,456 g/cm e eucalipto 0,546 g/cm. Em estudo realizado por Azzini et al. (1988) com a espécie-alvo (bambu) de 21 procedências foi verificada ME mínima 0,407 g/cm³ e máxima 0,712 g/cm³, intervalo pertencente aos obtidos. Entretanto, Batista, Klitzke e Santos (2010) observaram para *Eucalyptus grandis* de 11 anos que a ME variou 0,400 até 0,490 g/cm³, amplitude distinta da obtida, provavelmente, explicada pela diferença de idade entre os indivíduos utilizados (15 anos).

Acrescenta-se que as variações da ME estão relacionadas às diferenças nas estruturas celulares, tendências hereditárias, procedência, espaçamento, taxa de crescimento, influências fisiológicas e mecânicas, assim como fatores ambientais que afetam a estrutura anatômica vegetal (KOLLMANN; CÔTÉ JUNIOR, 1968; SOUZA; CARPIM; BARRICHELO, 1986).

A umidade (U) das partículas apresentou intervalo entre 1,86 e 2,15%, portanto, foi necessária a elevação da umidade até 3,00%.

CE médio observado para bambu foi 28,18 e 10,85 para eucalipto. O CE de bambu distinguiu-se das de eucalipto, a explicação, segundo Matos Júnior (2004), se dá pela geometria das fibras do bambu, que normalmente são mais alongadas e esbeltas. Vital, Haselein e Della Lucia (1992) relatam que partículas com CE maior resultam painéis de maior desempenho no teste de flexão e de estabilidade dimensional. Entretanto, quanto menor for a razão de esbeltez, menor será a área superficial específica da partícula, o que disponibilizaria mais resina e causaria o aumento na tração (IWAKIRI, 2005).

Na MEa foram mensurados valores entre 0,645 e 0,655 g/cm e a umidade do painel (Up) oscilaram de 12,57 a 12,85 % (Tabela 1). Os testes de MEa e Up não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. As variações da MEa e do Up podem ser explicadas, segundo Moraes et al. (2015), pela distinção da umidade, partículas, e perdas que poderiam ter ocorrido na manufatura dos painéis.

TABELA 1: Tratamentos, percentagens das partículas, desempenhos da MEa e a Up.

TABLE 1: Treatments, percentages of particles, performances of MEa and Up.

Tratamento	Partículas		MEa (g/cm ³)	Up (%)
	Bambu	Eucalipto		
T1	100	0	0,650	12,82
T2	75	25	0,646	12,85
T3	50	50	0,642	12,65
T4	25	75	0,653	12,57
T5	0	100	0,653	12,75

Em que: MEa = Massa Específica da amostra; Up = Umidade do painel.

Características físicas

Obtiveram-se correlações estatisticamente significativas da absorção água após 2 horas (AA2H) com as percentagens das espécies, massa específica da amostra e a umidade. Já, para absorção água após 24 horas (AA24H) não foram observadas correlações significativas (Tabela 2).

A U dos painéis e as percentagens utilizadas nos painéis apresentaram relação direta, isto é, a incorporação de bambu aumenta a U. Segundo Moraes et al. (2015), uma provável explicação é que as umidades de equilíbrio das espécies sejam distintas. Corroborando esta explicação, a U média das amostras foi: 17,67 (bambu); 13,96% (eucalipto).

Para a AA2H houve correlações com a B%, apresentando a tendência de aumento da absorção com a inserção de bambu (Tabela 2).

TABELA 2: Correlação de Pearson para testes físicos.

TABLE 2: Pearson's correlation for physical tests.

	B%	MEa	U	AA2H	AA24H	IE2H
MEa	-0,05ns	1				
U	0,70*	0,07ns	1			
AA2H	0,63*	-0,33*	0,57*	1		
AA24H	-0,23ns	-0,20ns	0,01ns	0,14ns	1	
IE2H	-0,11ns	0,27*	0,07ns	-	-	1
IE24H	-0,30*	0,51*	0,06ns	-	-	0,75*

Em que: b% = percentagem bambu; mea = massa específica da amostra; u = umidade; aa2h e aa24h = absorção água após 2 e 24 horas; ie2h e ie24h = inchamento da espessura após 2 e 24 horas; * e ns = significativo a 5% e não significativo, respectivamente, pela correlação de pearson.

A regressão entre a AA2H e B% revela uma curva exponencial, os melhores painéis foram os formados apenas de eucalipto e 25% bambu com 75% eucalipto (Figura 2A). Portanto, a incorporação de bambu até os 75%, resultou no acréscimo da AA2H e praticamente se manteve constante para os painéis somente de bambu. A média para o eucalipto foi de 75,95%, os desempenhos encontrados para a AA2H em painéis de eucalipto foram superiores ao de Iwakiri et al. (2000) 45,83% com parafina. Contudo, inferior ao valor médio 123,60% encontrados por Ferreira et al. (2016) para painéis de *Eucalyptus grandis*.

Na Figura 2B observa-se a equação estimada para AA24H e percentagens de bambu, apresenta-se a tendência de parábola. Os menores desempenhos foram obtidos pelos painéis uniformes de eucalipto e bambu com 104,81% e 105,61%, respectivamente para a AA24H. A inserção do bambu até a B% de 75% aumentou a AA24H e, logo após, a AA24H decresce. Este comportamento distinto da AA2H pode ser explicado pela porosidade dos painéis e/ou pela quantidade máxima de água que a parede anatômica da partícula consegue absorver. Ferreira et al. (2016) obtiveram maiores desempenhos de AA24H (143,21 %) em painéis de eucalipto.

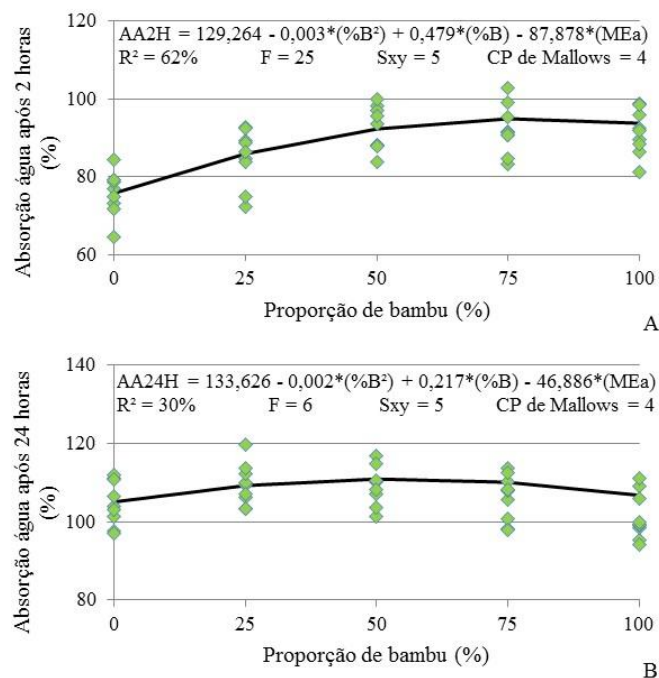


FIGURA 2: Absorção água após 2 (A) e 24 horas (B) dos painéis.

FIGURE 2: Water absorption after two (A) and twenty-four hours (B) of panels.

Os IE2H e IE24H foram significativos para a correlação com a MEa e com as percentagens de bambu apenas para o IE24H. Percebesse-se que a inserção de bambu diminuiu os IE2H e 24H (Tabela 2).

A Figura 3A representa a equação estimada entre o IE2H e as percentagens de bambu, nas quais se observa que o maior inchamento foi a combinação 50% bambu 50% eucalipto. Já os melhores desempenhos foram dos painéis uniformes 24,12% bambu e 26,34% eucalipto. Os painéis de eucalipto tiveram valor médio superior ao encontrado por Ferreira et al. (2016), que foi de 24,51%, em painéis sem parafina, massa específica 0,45 g/cm³ e 20 minutos de prensagem para IE24H. Esta discrepância é explicada, segundo Moraes et al. (2015), pela diferença entre as densidades utilizadas nos estudos, conforme a Tabela 2, os IE2H e 24H são diretamente proporcionais à MEa do painel.

Na Figura 3B percebesse-se que o IE24H aumenta com a inserção de bambu até 50%, e após este ponto a IE24H decresce. Portanto, o bambu proveu os painéis com a menor média (29,78%) de IE24H. A média de IE24H para os painéis de eucalipto foi 36,03%, superior ao encontrado por Ferreira et al. (2016) para painéis de *Eucalyptus grandis* sem parafina (30,13%).

A norma ANSI 208.1 (1987) preconiza até 35% de IE24H para comercialização, alcançado por todos os tratamentos analisados. Uma solução viável, para aumentar o desempenho em testes físicos dos painéis, testada por Cunha et al. (2014) para painéis de *Eucalyptus grandis*, consiste na aplicação de parafina a 1% da massa seca das partículas, obtendo-se 10,18%, 27,55%, 6,48% e 16,45% para AA2H, AA24H, IE2H e IE24H, respectivamente.

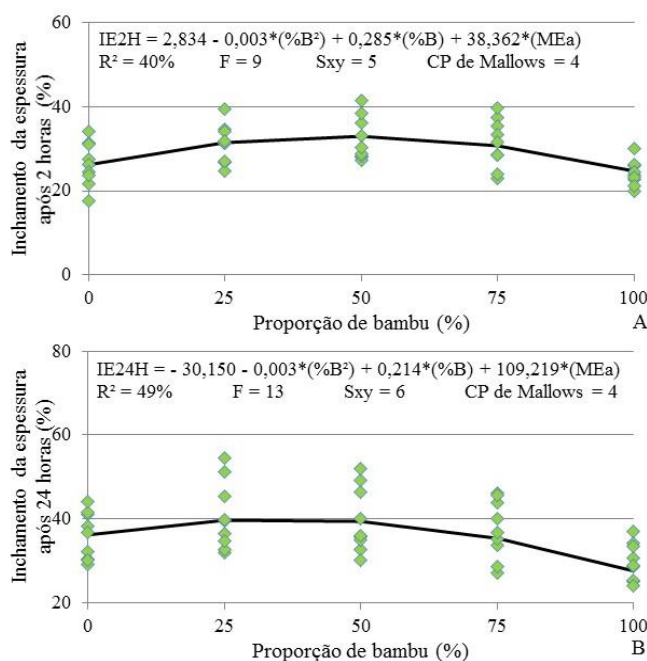


FIGURA 3: Inchamento da espessura após 2 (A) e 24 horas (B) dos painéis produzidos com bambu e eucalipto.

FIGURE 3: Swelling thickness after two (A) and twenty-four hours (B) of panels made with bamboo and eucalyptus.

A MEa interagiu de forma negativa a AA2H e a AA24H, 33 e 20% de correlação, respectivamente. Nas Figuras 4 (A) e (B), obteve-se a equação estimada para a AA2H e AA24H com a MEa. Este resultado foi verificado por Mello e Del Menezzi (2010) e Moraes et al. (2015) e pode estar relacionado com o acréscimo da densidade que diminui os espaços vazios, evitando a formação de bolsões de água no interior do painel.

A MEa influenciou de forma direta o inchamento da espessura após 2 (IE2H) e 24 horas (IE24H), com 27 e 51% de correlação, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado por Saldanha e Iwakiri (2004) e Melo e Del Menezzi (2010).

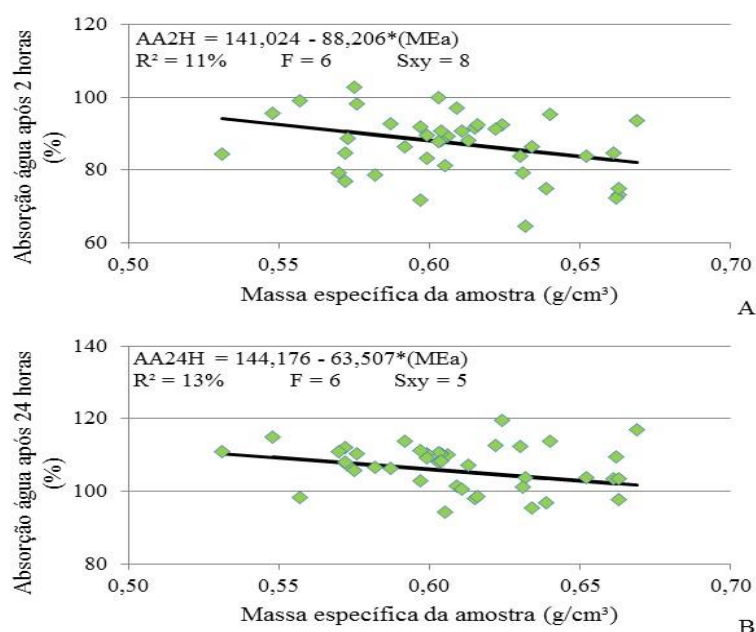


FIGURA 4: Equação estimada para a absorção água após 2 (A) e 24 horas (B) para massa específica da amostra.

FIGURE 4: Estimated equation for absorption of water after 2 (A) and 24 hours (B) for the sample specific mass.

Ao se comparar o efeito da MEa na absorção (água) e o inchamento da espessura, percebem-se comportamentos distintos, visto que a densidade do painel causou um decréscimo na absorção (água) e há um aumento do inchamento da espessura com o aumento da MEa (Figuras 5A e 5B). Uma provável explicação, segundo Suchsland (1973), é que a liberação das tensões geradas durante a prensagem dos painéis ocorre com a absorção (água) pelas amostras. Outro fato é que o adesivo utilizado nos painéis não é resistente à umidade.

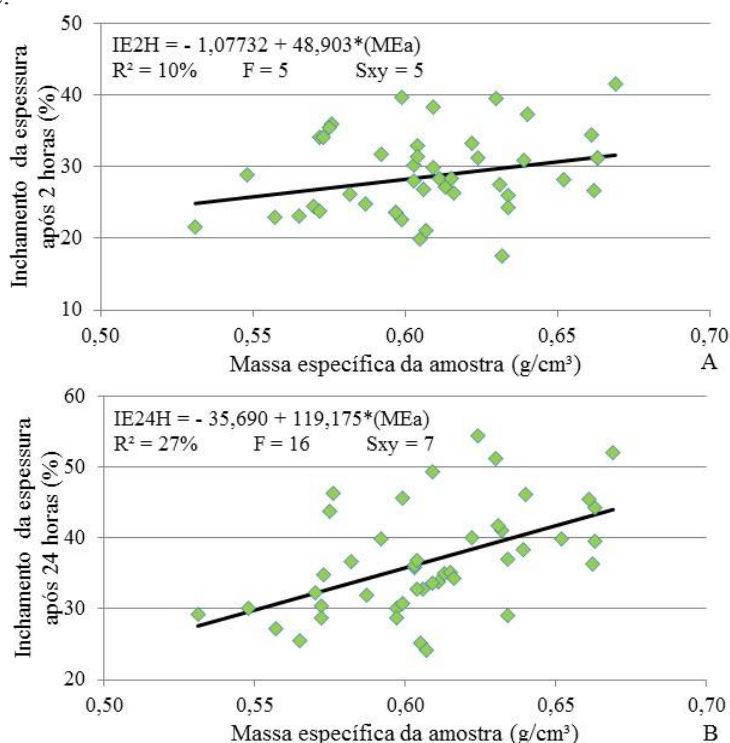


FIGURA 5: Equação estimada para o inchamento da espessura após 2 (A) e 24 horas (B) para massa específica da amostra.

FIGURE 5: Estimated equation for swelling thickness after two (A) and twenty-four hours (B) for the sample specific mass.

Características mecânicas

Os módulos de ruptura e de elasticidade (MOR e MOE) foram significativos na correlação simples com a B% a 0,58 e 0,62, respectivamente (Tabela 3). O MOR e MOE apresentaram correlações inversas para a B%, ou seja, a incorporação de bambu nos painéis diminuiu o MOR e o MOE.

TABELA 3: Correlação de Pearson para testes mecânicos.

TABLE 3: Pearson's correlation for mechanical tests.

	B%	MEa	MOR	MOE	AP
MEa	0,10ns	1			
MOR	-0,58*	0,38*	1		
MOE	-0,62*	0,16ns	0,70*	1	
AP	-0,61*	-0,12ns	-	-	1
TR	-0,48*	0,11ns	-	-	-

Em que: B% = Percentagem bambu; MEa = Massa Específica da amostra; MOR = Módulo Ruptura; MOE = Módulo Elasticidade; EP = Extração de Parafuso; TR = Tração; * e ns = significativo 5% e não significativo, respectivamente, pela correlação de Pearson.

A Figura 6A apresenta a equação estimada entre o MOR e as percentagens de bambu, no qual se verifica que a menor média foi obtida nos painéis uniformes de bambu. Já os painéis uniformes de eucalipto foram os que apresentaram maior média (7,63 MPa) para o MOR, porém, não atendem à norma ANSI A 208.1 (1987) para painéis de média massa específica (0,60 a 0,85 g/cm³) do tipo 1, que preconiza no mínimo 10,98 MPa para o MOR.

Neste estudo, os desempenhos absolutos de MOR variaram de 3,99 a 8,90 MPa, Iwakiri et al. (2000) conseguiram desempenhos superiores para o MOR, na amplitude de 7,4 a 13,4 MPa, em painéis uniformes de *Eucalyptus* sp. com parafina, 8% de resina UF, massa específica 0,75 g/cm³ e 8 minutos de prensagem. É importante acrescentar que, conforme a Tabela 3, o MOR foi diretamente influenciado pela MEa e que a MEa dos painéis produzidos nesse estudo foi inferior.

Pedrazzi et al. (2006), para painéis de palitos e serragem de *Eucalyptus saligna*, com ME de 0,65 g/cm³, 8% de UF e 8 minutos de prensagem, encontraram MOR variando entre 8,4 a 6,2 MPa, respectivamente para palitos e serragem, desempenhos distintos aos do presente trabalho. A diferença entre os tempos de prensagem [8 minutos (PEDRAZZI et al., 2006) e 10 minutos (presente estudo)], conforme observado por Trianoski et al. (2015), tende a aumentar o grau de polimerização do adesivo com consequente aumento do MOR e do MOE dos painéis.

Na equação para o MOE pelas B% (Figura 6B), verifica-se que o acréscimo da B% nos painéis, reduz o MOE. Portanto, os painéis de eucalipto obtiveram maior desempenho, atingindo 1.161,63 MPa. Ressalta-se que o desempenho médio para os painéis de eucalipto foi menor ao estabelecido pela ANSI A 208.1 (1987) (1.725,97 MPa).

Iwakiri et al. (2000) citam desempenhos de 1.217,89 a 2.305,56 MPa para o MOE, faixa acima do presente estudo (747,92 a 1.161,63 MPa). Pedrazzi et al. (2006), em painéis de palitos e serragem de *Eucalyptus saligna*, com ME 0,65 g/cm³, encontraram o MOE entre 1.015,4 a 1.058,4 MPa, respectivamente para palitos e serragem, desempenhos pertencentes ao intervalo deste estudo.

A resistência à extração de parafuso (EP) foi significativa na correlação com as B%. O EP teve correlação inversa com a B%, portanto, a incorporação na B% prejudicou o desempenho para o EP (Tabela 3).

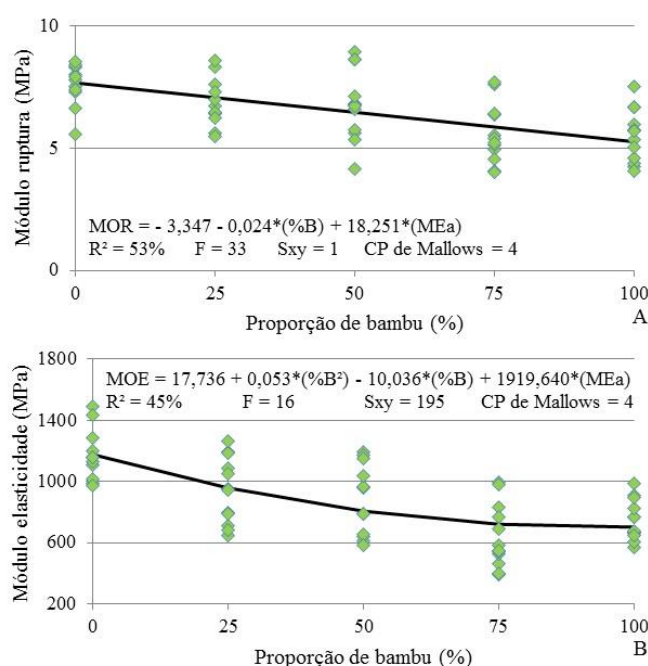


FIGURA 6: Módulo ruptura (A) e módulo elasticidade (B) dos painéis produzidos com bambu e eucalipto.

FIGURE 6: Modulus of rupture (A) and modulus of elasticity (B) of panels made with bamboo and eucalyptus.

Na Figura 7 são apresentadas as estimativas de EP e TR em função do desempenho, destacam-se os painéis de eucalipto que apresentaram maior desempenho em comparação aos demais. Porém, o mínimo requerido para EP, ANSI A 208.1 (1987), é de 102 kgf, exigência superior ao obtido (64,83 kgf). Uma forma para melhorar os desempenhos obtidos para o EP consiste em utilizar maiores percentagens de adesivo na confecção dos painéis. Esta hipótese foi testada por Vital e Haselein (1988) que obtiveram 104 e 133 kgf, desempenhos superiores à norma de comercialização, para o EP de *Bambusa vulgaris* com 7 e 10% de UF, respectivamente.

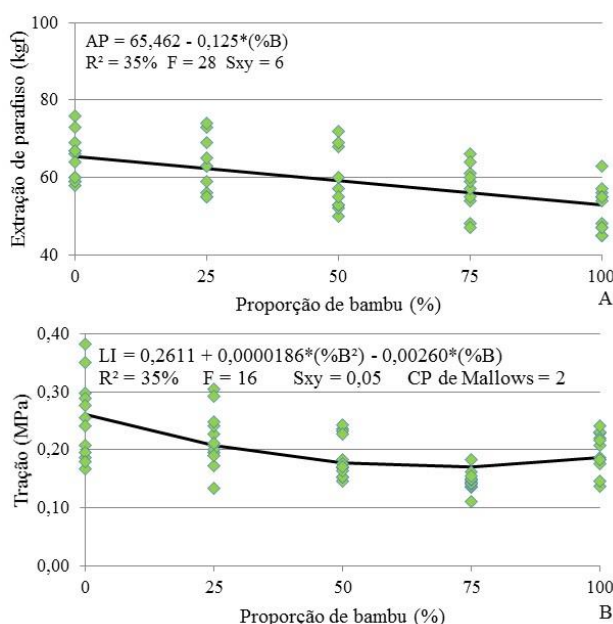


FIGURA 7: Extração de parafuso (A) e tração (B) dos painéis produzidos com bambu e eucalipto.

FIGURE 7: Screw withdrawal (A) and internal bond (B) of panels made with bamboo and eucalyptus.

Melo e Del Menezzi (2010) em painéis de *Eucalyptus grandis* obtiveram 72,4, 90,86 e 98,5 kgf para 0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³, respectivamente de EP, desempenhos maiores aos obtido (64,83 kgf). Pedrazzi et al. (2006) observaram 53 a 70 kgf para EP em painéis de palito e serragem de *Eucalyptus saligna* com 8% de UF. Observa-se que o valor obtido neste estudo está no intervalo observado pelos autores.

Arruda et al. (2011) observaram a média de 63,53 kgf para EP nos painéis de *Guadua magna*, valor maior ao obtido por *Bambusa tuldoidea* (52,25 kgf). Entretanto, Calegari et al. (2007) verificaram valor médio inferior (35,44 kgf) em painéis de *Bambusa vulgaris*, com 10% de UF.

A tração (TR) foi significativa com a B%. Nota-se na Tabela 3, que a TR apresentou correlação negativa para a B%, ou seja, com o incremento de bambu nos painéis, o desempenho no teste supracitado diminui.

A equação estimada entre a TR e a B% sugere que as partículas de bambu não obtiveram boa adesão com as de eucalipto (Figura 7). Os melhores desempenhos foram obtidos pelos painéis uniformes de eucalipto (0,25 MPa), contudo, inferior ao estabelecido pela norma ANSI A 208.1 (1987) que exige 0,414 MPa.

Pedrazzi et al. (2006) em painéis aglomerados de palitos e serragem da espécie *Eucalyptus saligna*, observaram 0,17 e 0,13 MPa para a TR, sendo estes desempenhos inferiores aos do presente estudo. Assim como no estudo de Naumann et al. (2008) para painéis de *Eucalyptus urophylla* foi observado desempenhos inferiores (0,16 e 0,22 MPa para maravalha e cavaco, respectivamente). No entanto, Melo e Del Menezzi (2010) observaram desempenhos superiores (0,28, 0,31 e 0,35 MPa) em painéis de *Eucalyptus grandis* em distintas massas específicas (0,60, 0,70 e 0,80 g/cm³).

Neste contexto, Vital e Haselein (1988) destacaram que um fator que dificulta o uso da madeira do gênero *Eucalyptus* para painéis é o inchamento excessivo e a difícil colagem das partículas (baixa resistência à TR) ambos constatados neste trabalho. Uma alternativa para diminuir o inchamento excessivo sem influenciar significativamente a TR, segundo Oliveira et al. (2010), seria a acetilação das partículas.

Vital e Haselein (1988) observaram em painéis de *Bambusa vulgaris* que não foram atendidos aos desempenhos mínimos estabelecidos pela norma para testes mecânicos e relataram que os desempenhos verificados na TR, demonstram que as partículas de bambu não colaram satisfatoriamente. Para Xu et al. (1998), uma provável explicação para o desempenho inferior de painéis formados por bambu, em relação ao mínimo determinado pela norma, deve-se à presença das faces interna e externa dos colmos. Os autores mencionam que a face interna apresenta qualidade mecânica inferior ao restante do material, já a face externa é coberta por cera, que prejudica a colagem. Este comportamento foi analisado por Calegari et al. (2007), ao compararem painéis particulados sem e com epiderme, observando maiores desempenhos de tração nos painéis confeccionados sem a epiderme.

De maneira geral, painéis uniformes de bambu demonstram desempenho similar aos de somente eucalipto, já que os desempenhos obtidos pela espécie comercial, *Eucalyptus grandis*, não atingiu os desempenhos padrões (ANSI A 208.1, 1987). Recomendam-se novos estudos utilizando painéis combinados de *Bambusa tuldoidea* e espécies utilizadas comercialmente, com a retirada da epiderme dos colmos, utilização de parafina na mistura, distintas densidades e teores de adesivo visando à confirmação ou não da eficiência do uso das partículas de *Bambusa tuldoidea*.

CONCLUSÃO

O desempenho obtido no inchamento após 24 horas pelos painéis uniformes de *Bambusa tuldoidea* está em consonância com a ANSI A 208.1. Entretanto, nenhum dos tratamentos avaliados atendeu à norma supracitada para os testes mecânicos.

Ao comparar as partículas de *Bambusa tuldoidea* e de *Eucalyptus grandis* pode-se afirmar que o uso do bambu foi promissor para os testes físicos de AA24H e IE2H e IE24H. Porém, a incorporação de B% nos painéis resultou na redução do desempenho obtido nos testes mecânicos.

Verificou-se que ao aumentar a MEa os desempenhos da AA2H e 24H diminuíram, já para o IE2H e 24H foi observado comportamento inverso.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI-A-208.1-87**: mat-formed wood particleboard. New York, 1987. 9 p.
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ASTM D1037-99**: standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken, 1999. 30 p.
- ARRUDA, L. M. et al. Lignocellulosic composites from brazilian giant bamboo (*Guadua magna*) Part 1: Properties of resin bonded particleboards. **Maderas: Ciencia y tecnologia**, Concepción, v. 13, n. 1, p. 49-58, 2011.
- AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de *Bambusa tuldooides* Munro. **Bragantia**, Campinas, v. 47, n. 2, p. 239-246, 1988.
- BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010.
- CALEGARI, L. et al. Desempenho físico-mecânico de painéis fabricados com bambu (*Bambusa vulgaris* Schr.) em combinação com madeira. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 57-63, 2007.
- CUNHA, A. B. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.
- FERREIRA, K. B. et al. Avaliação das propriedades físicas de painéis aglomerados de jatobá, pinus e eucalipto. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 15., 2016, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UFPR, 2016. Disponível em: <<http://www.xiiebramem.ufla.br>>. Acesso em: 27 jun. 2016.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Methods of determining specific gravity of wood**. Madison: USDA; Forest Service, 1956. p. 6.
- GHAVAMI, K. Application of bamboo as a low-cost energy material in civil engineering. In: CIB RILEM SYMPOSIUM ON MATERIALS FOR LOW INCOME HOUSING, 3. **Anais...** México City: [s. n.], 1989. p. 526-536.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.
- IWAKIRI, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto. **Revista Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. I. Solid Wood. New York: Springer, 1968. 592 p.
- LÓPEZ, O. H. **The gift of the gods**. 1. ed. Bogotá: D'Vinni, 2003. 553 p.
- MATOS JUNIOR, S. M. S. **Bambus como recurso florestal**: suas aplicações, manejo silvicultura, propagação, entomologia e a situação no DF. 2004. 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.
- MELO, R. R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 35-42, 2015.
- MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H. S. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Silva Lusitana**, Lisboa, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.
- MORAIS, W. W. C. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldooides* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.
- NAUMANN, R. B. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 6, p. 1143-1150, 2008.
- OLIVEIRA, F. V. et al. Efeito da acetilação das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* e da inclusão de partículas de polietileno e de embalagens cartonadas nas propriedades de chapas de aglomerado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 937-946, 2010.
- OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e arquitetura**: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

- OSTAPIV, F. **Análise e melhoria do processo produtivo de tábuas de bambu (*Phyllostachys pubescens*) com foco em pisos**. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- PEDRAZZI, C. et al. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, 2006.
- SALDANHA, L. K.; IWAKIRI, S. Influência da densidade e do tipo de resina nas propriedades tecnológicas de painéis OSB de *Pinus taeda* L. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 571-576, jul./set. 2009.
- SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus Saligna*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 33, p. 65-72, 1986.
- STANGERLIN, D. M. et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41 n. 8, ago. 2011.
- SUCHSLAND, O. Higrscopic thickness swelling and related properties of selected commercial particleboard. **Forest Products Journal**, Madison, v. 23, n. 7, p. 26-30, 1973.
- TEIXEIRA, A. A. **Painéis de bambu para habitações econômicas: avaliação do desempenho de painéis revestidos com argamassa**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- TRIANOSKI, R. et al. Avaliação das propriedades de painéis compensados de *Melia azedarach* L. produzidos com diferentes gramaturas e tempos de prensagem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 39, n. 4, p. 759-768, 2015
- VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R. Qualidade de chapas de aglomerado produzidas com embaúba (*Cecropia sp.*) e bambu (*Bambusa vulgaris*). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 12, n. 2, p. 134-145, 1988.
- VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLALUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.
- XU, H. et al. Mechanical properties of plywood reinforced by bamboo or jute. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 81-85, jan. 1998.