

Desempenho de painéis de madeira laminada colada cruzada constituídos com eucalipto, seringueira e bambu

Performance of cross glued laminated wood panels made of eucalyptus, rubber tree and bamboo

Rendimiento de paneles de madera laminada encolada cruzada de eucalipto, árbol del caucho y bambú

Recebido: 14/06/2021 | Revisado: 20/06/2021 | Aceito: 30/06/2021 | Publicado: 13/07/2021

Hudson Venâncio Silva Garcia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2609-7483>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: hudsonjapa@hotmail.com

Ana Carolina Corrêa Furtini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2106-6602>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: ana.furtini1@estudante.ufla.br

Flávia Maria Silva Brito

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6834-8666>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: faengflorestal@gmail.com

Carolina Aparecida dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3469-9011>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: carolinaapnep@gmail.com

David Augusto Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2888-2928>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: david.augusto.ribeiro@gmail.com

José Benedito Guimarães Júnior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9066-1069>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: jose.guimaraes@ufla.br

Lourival Marin Mendes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8713-405X>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: lourival@ufla.br

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de madeira laminada colada cruzada (MLCC) e bambu laminada colado cruzado (BLCC). Para a colagem das lâminas de madeiras (*Eucalyptus grandis* e *Hevea brasiliensis*) e bambu (*Dendrocalamus giganteus*) foi utilizado o adesivo à base de resorcinol-formaldeído (RF) com gramatura de 350 g.cm⁻² por linha dupla de cola. As lâminas foram prensadas a frio sob pressão de 1MPa em temperatura ambiente durante o período de 24 horas. Foram adotados três tratamentos com base nas espécies: 1) lamelas de eucalipto; 2) lamelas de seringueira; 3) lamelas de bambu. Avaliou-se as propriedades densidade aparente, teor de umidade, absorção de água, flexão estática módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) paralelo e perpendicular e resistência ao cisalhamento na linha de cola. Os resultados da análise química indicaram maior teor de extrativos e lignina para o eucalipto. O bambu foi o que apresentou maior densidade, diferindo-se significativamente das demais. Os painéis MLCC de seringueira evidenciaram menor teor de umidade e maior taxa de absorção de água. Para a propriedade MOE paralelo, os painéis MLCC de seringueira evidenciaram maior valor médio enquanto o MOR perpendicular dos painéis de bambu demonstraram maior valor médio. Para a resistência ao cisalhamento na linha de cola, todos os tratamentos avaliados atenderam aos requisitos normativos da EN-314-2 (1993). Dentre as espécies analisadas recomenda-se o bambu, que demonstrou grande potencial para a fabricação de MLCC além de representar uma opção sustentável para o futuro.

Palavras-chave: Produto engenheirado; Resorcinol-formaldeído; Sustentabilidade.

Abstract

The aim of this research was to evaluate the physical and mechanical properties of cross-glued laminated wood (MLCC) and cross-glued laminated bamboo (BLCC) panels. For the bonding of veneers of wood (*Eucalyptus grandis* and *Hevea brasiliensis*) and bamboo (*Dendrocalamus giganteus*) an adhesive based on resorcinol-formaldehyde (RF)

was used in ratio 350 g.cm⁻² per double line of glue. The slides were cold pressed under a pressure of 1MPa at room temperature for a period of 24 hours. Three species-based treatments were adopted: 1) eucalyptus lamellae; 2) rubber tree coverslips; 3) Bamboo Coverslips. Bulk density, moisture content, water absorption, static bending modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) parallel and perpendicular and shear strength in the glue line were evaluated. The results of the chemical analysis indicated a higher content of extractives and lignin for eucalyptus. Bamboo had the highest density, differing significantly from the others. The rubber tree MLCC panels showed lower moisture content and higher water absorption rate. For the parallel MOE property, the rubber tree MLCC panels showed a higher mean value while the perpendicular MOR of the bamboo panels showed a higher mean value. For shear strength in the glue line, all evaluated treatments met the normative requirements of EN-314-2:1993. Among the species analyzed, bamboo is recommended, which has shown great potential for the manufacture of MLCC, in addition to representing a sustainable option for the future.

Keywords: Engineered product; Resorcinol formaldehyde; Sustainability.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los paneles de madera laminada encolada cruzada (MLCC) y de bambú laminado encolado cruzado (BLCC). Para el pegado de chapas de madera (*Eucalyptus grandis* y *Hevea brasiliensis*) y bambú (*Dendrocalamus giganteus*) se utilizó un adhesivo a base de resorcinol-formaldehído (RF) usó en proporción de 350 g.cm⁻² por doble línea de cola. Los portaobjetos se prensaron en frío a una presión de 1 MPa a temperatura ambiente durante un período de 24 horas. Se adoptaron tres tratamientos basados en especies: 1) laminillas de eucalipto; 2) laminillas árbol del caucho; 3) laminillas bambú. Se evaluó la densidad aparente, el contenido de humedad, la absorción de agua, el módulo de elasticidad de flexión estática (MOE) y el módulo de ruptura (MOR) en paralelo y perpendicular y la resistencia al corte en la línea de cola. Los resultados del análisis químico indicaron un mayor contenido de extractos y lignina para eucalipto. El bambú fue el de mayor densidad, diferenciándose significativamente de los demás. Los paneles MLCC de árbol de caucho mostraron un menor contenido de humedad y una mayor tasa de absorción de agua. Para la propiedad MOE paralelo, los paneles MLCC del árbol de caucho mostraron un valor medio más alto mientras que el MOR perpendicular de los paneles de bambú mostró un valor medio más alto. Para la resistencia al corte en la línea de cola, todos los tratamientos evaluados cumplieron con los requisitos normativos de EN-314-2: 1993. Entre las especies analizadas se recomienda el bambú, que ha mostrado un gran potencial para la fabricación de MLCC, además de representar una opción sostenible para el futuro.

Palabras clave: Producto de ingeniería; Resorcinol-formaldehído; Sustentabilidad.

1. Introdução

A madeira laminada colada cruzada (MLCC) ou Cross Laminated Timber (CLT), é um produto engenheirado e pouco utilizado no Brasil. Esta tecnologia foi desenvolvida nos países da Áustria e Alemanha, na década de 90 (Baño et al., 2016). A sua produção consiste na colagem de lâminas de madeira, dispostas de maneira intercalada, em sentidos da grã perpendiculares e, por fim, prensadas em uma prensa hidráulica.

O método de colagem das lâminas cruzadas é vantajoso, pois melhora as propriedades estruturais dos painéis em função da distribuição de forças ao longo das fibras do material, em ambos os sentidos. Esse arranjo minimiza os efeitos de retração significativa ou deformidade nos painéis, permitindo-lhes, suportar cargas elevadas, tornando viável construções com diversos pavimentos (Giorgi et al., 2020). Utilizar sistemas construtivos com madeira facilita a pré-fabricação, evitando desperdícios, que normalmente é comum em obras convencionais, e tem o ganho de tempo durante a execução, além da baixa relação resistência/massa e bom isolamento térmico e acústico (Pereira, 2014; Ecker et al., 2017; Lucena, 2017).

Os painéis são promissores no campo da construção, permitindo utilizar madeira de baixo valor agregado para aplicações de alto valor agregado, contribuindo assim para uma melhor utilização dos recursos florestais (Mallo & Espinoza, 2015). Além disso, podem oferecer a possibilidade de um considerável mercado para espécies de árvores subutilizadas e de baixa qualidade (Kaboli et al., 2020).

Ressalta-se que as condições edafoclimáticas brasileiras aliadas as tecnologias, proporcionam uma elevada taxa de crescimento para algumas espécies que por um lado, podem possuir baixas propriedades de resistência, se utilizadas como componente único, mas que podem se tornar adequadas se utilizadas como um produto engenheirado, como os painéis de MLCC. Dessa forma, citam-se três espécies: bambu, seringueira e eucalipto, como alternativas com potencial para produção

dos painéis.

A área total de árvores plantadas no Brasil foi correspondente a 9,0 milhões de hectares em 2020. Em relação aos plantios de eucalipto, há uma ocupação de 6,97 milhões de hectares (Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ, 2020). O gênero *Eucalyptus* é uma boa opção, além de ser promissor, em função da sua diversidade de espécies, fonte de matéria-prima, alta capacidade de produção, fácil adaptação ambiental, além de atender vários setores de produção da indústria da madeira (Kazmierczak et al., 2017; Iwakiri et al., 2017). Dentre as espécies mais plantadas no Brasil, destaca-se o *Eucalyptus grandis*. A maior área de plantio desta espécie e seus híbridos está no Brasil e em outros países da América Central e do Sul (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EmBraPa, 2019).

A seringueira (*Hevea brasiliensis*) é nativa da região amazônica do Brasil (Silva et al., 2018). A área plantada no Brasil, aumentou significativamente, de 159.000 ha em 2010, para 218.307 ha em 2018 (IBÁ, 2019). Tem ampla importância para a economia Brasileira, pois é largamente utilizada para obtenção de látex, utilizado como matéria prima, para fabricação da borracha (Iwakiri et al., 2017). Para Ramos et al. (2016), o Brasil não utiliza a madeira de seringueira tradicionalmente na indústria, mas para atividades como produção de biomassa. De acordo com Eufrade Júnior et al. (2015) esta matéria-prima pode ser utilizada para aplicações em estruturas primárias, secundárias, construção leve e indústria de móveis, além de ser uma opção no mercado brasileiro para diminuir a demanda de madeira por espécies florestais nativas.

Como exemplo de materiais alternativos cita-se o bambu, que possui mais de 1.600 espécies e produção de biomassa em torno de 22 ton/ha. No Brasil, a área ocupada corresponde a 18 milhões de hectares em floresta tropical do estado do Acre (Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE, 2018). Possui as seguintes características: alta taxa de crescimento, material renovável, boas propriedades físico-mecânicas, fácil de ser obtido, além do baixo custo. Com base nestas vantagens pode ser uma opção viável para a produção de produtos de alto valor agregado como móveis, painéis, parquetes e compostos estruturais, pois demonstra potencial para substituir outras matérias-primas atuais (Huang et al., 2018). O bambu possui boa resistência (compressão, tração e flexão estática) em relação a outras fontes renováveis e não renováveis, e pode gerar resultados mais satisfatórios em painéis colados com resina contribuindo para sua adesão (Barbosa et al. 2015).

O escopo da presente pesquisa, se apoia no fato de ser um tema interessante e relativamente novo no Brasil. Dessa forma, visando contribuir com informações científicas a respeito de espécies potenciais e alternativas, como o bambu, o objetivo desta pesquisa foi avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (MLCC) produzidos a partir das madeiras de seringueira, eucalipto e bambu (BLCC).

2. Metodologia

2.1 Obtenção e preparo da matéria-prima

Para a manufatura dos painéis foram coletados colmos da espécie *Dendrocalamus giganteus*, cultivados no campus universitário, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado na cidade de Lavras-MG. Para a coleta do bambu deu-se preferência aos indivíduos com idade adulta, a partir de cinco anos de idade, característica que indica resistência das hastes. Os colmos foram selecionados em duas touceiras aleatoriamente e deu-se preferência as hastes que não continham traços indicativos de biodeterioração.

As árvores de eucalipto utilizadas no experimento foram provenientes de um plantio experimental no campus da UFLA. Possuíam em torno de oito anos de idade e o DAP (diâmetro à altura de 1,30m do solo) foi correspondente a 30 cm. As árvores de seringueira foram provenientes da Fazenda Gundi, localizada no município de Nepomuceno, na região do estado de Minas Gerais. Foram abatidas três árvores com 29 anos de idade e o DAP foi correspondente a 35 cm. O abate de todos os indivíduos utilizados no experimento foi realizado com motosserra. Foram retirados discos das árvores em cinco posições: 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial.

Após a obtenção dos materiais lignocelulósicos, os mesmos foram transportados até o laboratório da Unidade Experimental de Painéis de Madeira (UEPAM), localizada na UFLA. Os discos foram acondicionados em sala climatizada (temperatura de 22 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), até estabilizar a umidade. Em seguida os discos, foram divididos em cunhas, sendo que duas unidades opostas foram utilizadas para determinar a densidade básica e as outras duas foram utilizadas para determinar a análise química dos materiais avaliados. A retirada dos corpos de prova para análise da densidade básica do bambu, foi realizada de acordo com os procedimentos descritos por Brito et al. (2015).

As toras foram transportadas até a serraria, onde ocorreria o processamento mecânico. Foram desdobradas em engenho de fita em forma de pranchas. Em seguida, as pranchas passaram por um processo de secagem ao ar livre, durante 60 dias. Após esta fase, as pranchas foram transportadas até uma marcenaria para produção das lamelas, que foram produzidas com o auxílio de uma desengrossadeira. Para transformação dos colmos em lamelas foram seguidos os procedimentos descritos por Brito et al. (2018). O material foi transformado em lamelas com dimensões de 250 x 250 x 10 mm (comprimento x largura x espessura, respectivamente). As lamelas foram acondicionadas em sala climatizada para posterior utilização.

2.2 Caracterização física e química do material in natura

A densidade básica dos materiais lignocelulósicos foi determinada conforme as designações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 (ABNT, 2003).

Os discos foram triturados em moinho do tipo martelo com objetivo de transformá-los em serragem. Para a classificação dos materiais foram utilizadas duas peneiras e o material selecionado para análise ficou retido na peneira de 60 mesh. Os constituintes químicos da madeira e bambu foram analisados em triplicatas. Para análise dos constituintes químicos foram quantificados os teores de lignina insolúvel conforme os procedimentos da NBR 7989 (ABNT, 2010), extrativos totais segundo a NBR 14853 (ABNT, 2010b) e cinzas de acordo com a NBR 13999 (ABNT, 2017). O teor de holocelulose foi obtida pelo método da diferença $H (\%) = 100 - (\text{Extrativos totais} + \text{Teor de lignina} + \text{Cinzas})$.

2.3 Manufatura dos painéis

Primeiramente as lamelas foram secas em estufa com circulação de ar forçada até a umidade na base seca de 3%. Para a colagem das lamelas de madeira e bambu utilizou o adesivo termofixo, de nome comercial Cascophen-RS-216, a base de resorcinol-formaldeído (RF). Utilizou-se 15% de catalisador (paraformaldeído) para acelerar a cura do adesivo, conforme especificado pelo fabricante. Foram formados três grupos de material, que seriam os tratamentos da pesquisa: 1) lamelas de seringueira; 2) lamelas de eucalipto; 3) lamelas de bambu. Adotou-se a gramatura de 350 g.cm^{-2} em linha dupla, aplicada sobre as lamelas com o auxílio de um pincel. Os painéis de madeira e bambu foram produzidos com dimensão nominal de 400 mm x 400 mm x 80 mm (comprimento, largura e espessura), utilizando três camadas cruzada entre si. Após a distribuição da cola sobre as superfícies das lamelas, as mesmas foram imediatamente fechadas e prensadas a frio adotando-se os seguintes parâmetros: pressão de 1MPa, temperatura ambiente durante o período de 24 horas, conforme as designações da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Após a prensagem, os painéis foram acondicionados em sala de climatização com temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, até completar o processo de cura do adesivo. Posteriormente, os painéis devidamente identificados a que espécies pertenciam, foram seccionados, para obtenção dos corpos de prova para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas.

2.4 Ensaios físicos e mecânicos dos painéis

Para os ensaios de teor de umidade e densidade aparente dos painéis produzidos seguiram-se as recomendações da

NBR-ISO 12466-1 (ABNT, 2012). Para absorção de água, utilizou-se a metodologia descrita na NBR 9486 (ABNT, 2011). As propriedades mecânicas avaliadas foram: resistência ao cisalhamento na linha de cola, Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) no ensaio de flexão estática na direção paralela e perpendicular às fibras dos painéis. Todas foram determinadas conforme a American Society for Testing and Materials - ASTM D143 (1995). Os ensaios mecânicos foram realizados com o auxílio de uma máquina universal de ensaios modelo EMIC DL 30000, dotada com célula de carga de 300 kN, localizada no Laboratório de Estruturas, pertencente ao Departamento de Engenharia (DEG) da UFLA.

Para análise da composição química da madeira, foi utilizada a estatística descritiva, com valores médios e os respectivos valores dos desvios-padrão. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (T1: painéis de seringueira, T2: painéis de eucalipto, T3: painéis de bambu). Foram produzidas quatro unidades por tratamento, totalizando 12 painéis experimentais. Para distinção das médias das propriedades físicas, mecânicas e químicas foi realizada análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

3. Resultados e Discussão

3.1 Densidade básica e análise química dos materiais lignocelulósicos

Na Tabela 1, encontram-se os valores médios referentes a densidade básica, teores de extrativos totais, lignina total, cinzas e holocelulose das espécies estudadas.

Tabela 1. Valores médios dos teores de extrativos totais, lignina insolúvel, cinzas e holocelulose.

Tratamentos	DB (g.cm ⁻³)	ET (%)	LI (%)	C (%)	H (%)
T1	0,61 (0,01) a	9,35 (1,23) a	30,11 (2,30) a	0,25 (0,60) a	60,29 (3,44) a
T2	0,59 (0,01) a	5,25 (0,34) b	17,51 (0,47) c	0,95 (0,84) a	76,29 (5,45) b
T3	0,61 (0,01) a	8,06 (0,77) a	23,89 (0,94) b	3,99 (1,93) b	64,06 (2,60) a

T1: painéis de eucalipto, T2: painéis de seringueira; T3: painéis de bambu. DB: densidade básica; ET: extrativos totais; LI: lignina insolúvel; C: cinzas; H: holocelulose. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Fonte: Autores.

Conforme a Tabela 1, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos para a densidade básica. O valor médio obtido para densidade básica do *Dendrocalamus giganteus* encontra-se na faixa citada por Lima et al. (2017) e foi similar ao valor encontrado por Rosa et al. (2016) correspondente a 0,60 g.cm⁻³ e inferior ao resultado obtido por Brito et al. (2015) de 0,66 g.cm⁻³. Observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos, uma vez que, todos os indivíduos comparados tinham a mesma idade, fator importante já que a densidade pode ser diretamente influenciada pela idade.

O valor obtido para a madeira de seringueira oscilou entre os valores reportados na literatura. Faria et al. (2019a) fizeram o estudo da variação da densidade no sentido base-topo, para madeira da mesma espécie, com aproximadamente 20 anos de idade e encontraram valores entre 0,53 a 0,55 g.cm⁻³ e Riyaphan et al. (2015), verificaram a densidade básica da mesma espécie com idade de 13 anos, e encontraram valor médio de 0,55 g.cm⁻³. Portanto, o valor obtido foi superior aos dos autores citados e inferior ao valor citado por Parra-Serrano et al. (2018) que estudaram a mesma espécie e obtiveram densidade média de 0,68 g.cm⁻³. Segundo os autores esta propriedade física auxilia na obtenção de uma significativa eficiência de colagem, permitindo a penetração e distribuição uniforme do adesivo e aumentando a força da ligação adesiva.

O valor médio obtido para a densidade básica do *Eucalyptus grandis* foi superior aos resultados encontrados na literatura. De acordo com o estudo reportado por Batista et al. (2010) que analisaram clones de *Eucalyptus grandis* encontraram valor médio de 0,45 g.cm⁻³. Já Moraes et al. (2018) e Melo et al. (2015), avaliaram o *Eucalyptus grandis* com

idade aproximada de 15 anos de idade e obtiveram valor médio correspondente a 0,54 e 0,51 g.cm⁻³, respectivamente.

A determinação da densidade é um fator indispensável para a fabricação de elementos de madeira laminada colada, visto que a mesma pode interferir na penetração da cola, pressão utilizada, tempo necessário para prensagem e cura do adesivo (Segundinho et al., 2018). De acordo com a classificação de Coradin et al. (2010) e Silveira et al. (2013), as madeiras utilizadas nesta pesquisa são consideradas de média densidade, pois apresentam valores médios para densidade básica entre 0,50 g.cm⁻³ e 0,72 g.cm⁻³.

Iwakiri et al. (2012), constataram que espécies de média densidade, como o *Eucalyptus grandis* e *Hevea brasiliensis*, possuem uma vantagem técnica significativa na fabricação de painéis laminados para fins estruturais, que requerem maior resistência mecânica. Segundo a ANSI/APA PRG 320:2012 as espécies selecionadas, para fabricação de painéis CLT, devem possuir densidade superior a 0,35 g.cm⁻³, sendo assim todas atendem a este parâmetro.

Em relação ao teor de extrativos totais (Tabela 1), observa-se que a madeira de *Eucalyptus grandis* apresentou maior valor médio e a *Hevea brasiliensis* obteve o menor valor médio. O valor obtido para o teor médio de extrativos encontra-se entre os resultados reportados na literatura. Gallio et al. (2020) analisaram a composição química da mesma espécie, com 12 anos de idade, e encontraram para o teor de extrativo valor médio de 1,11%. Pinto et al. (2016) verificaram a composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* aos 27 anos de idade e obtiveram teor médio de extrativos correspondente a 10,83%.

Para a madeira de seringueira foi obtido teor médio de extrativos de 5,25%, inferior ao valor obtido por Riyaphan et al. (2015), que analisaram a mesma espécie, oriunda da Malásia com 13 anos de idade, em duas posições do fuste e obtiveram valor médio de 9,75% de extrativos totais. Faria et al. (2019a) fizeram um estudo com a mesma espécie, proveniente da região Sul do estado de MG (Brasil), com 20 anos de idade e obtiveram valor inferior ao obtido na presente pesquisa para o teor de extrativos (3,17%).

O valor obtido para o *Dendrocalamus giganteus*, ficou entre os valores reportados na literatura. Marinho et al. (2012) analisaram a composição química de colmos da mesma espécie, provenientes da região de Bauru (SP) 2 e 6 anos de idade. Na presente pesquisa será considerado o valor médio dos resultados obtidos para as idades de 5 e 6 anos, que caracteriza a idade adulta do bambu, sendo assim o valor médio obtido foi 8,90%. Brito et al. (2018) para mesma espécie em idade adulta, proveniente da região Sul do estado do ES (Brasil), encontraram 6,30%. Os extrativos resinosos e oleosos são hidrofóbicos. Sendo assim, pode ser que os adesivos não tenham boa molhabilidade e não penetrem devidamente na superfície, caso possuam extrativos (Forest Products Laboratory – FPL, 2010), por isso é tão importante avaliar a quantidade de extrativos presentes do material lignocelulósico que será colado.

Ainda de acordo com a mesma tabela observa-se que o teor de lignina obtido para a madeira de eucalipto encontra-se entre os valores relatados na literatura. Gallio et al. (2020) obtiveram valor médio de 22,11% e Pinto et al. (2016) encontraram 30,95%. O valor médio do teor de lignina, obtido para madeira de seringueira encontra-se entre os valores médios reportados na literatura. Faria et al. (2019a) obtiveram valor médio de 14,84% e Riyaphan et al. (2015) encontraram 20,10%. Para o bambu os valores obtidos na literatura foram superiores, Marinho et al. (2012) obtiveram teor de 23,69%, (considerando a média obtida para os bambus de 5 e 6 anos) e Brito et al. (2018) encontraram valor médio de 25,59%.

O menor teor de cinzas (Tabela 1) foi observado para a madeira de eucalipto (0,25%) e o maior foi obtido para o bambu (3,99%). Pinto et al. (2016) obtiveram valor médio de 0,14%, inferior ao obtido no presente estudo. Para madeira de seringueira observou-se que o valor obtido ficou entre os valores reportados na literatura. Faria et al. (2019a) obtiveram valor médio de 1,56% e Riyaphan et al. (2015) encontraram valor médio de 0,85%. Marinho et al. (2012) obtiveram para os bambus de 5 e 6 anos, valor médio de 0,74%, inferior ao obtido no presente estudo. Os teores de cinzas das espécies de bambus são justificados pelos altos teores de sílica que são encontrados na composição química dos colmos (Liu et al., 2014). Marinho et

al. (2012) cita alguns fatores que podem variar os teores de cinzas encontrados tais como: manejo, o clima e quantidade de nutrientes disponíveis para o desenvolvimento de cada amostra.

Para a fração de holocelulose dos materiais avaliados (Tabela 1) verifica-se que o maior valor médio foi obtido para a madeira de seringueira. O valor encontrado para o teor de holocelulose de eucalipto foi inferior aos valores reportados por Pinto et al. (2016) que obtiveram 62,80% e Gallio et al. (2020) que encontraram 70,82%. Para a madeira de seringueira o valor obtido ficou entre os valores da literatura. Faria et al. (2019a) obtiveram 80,63% e Riyaphan et al. (2015) encontraram 70,10%. O valor obtido para o bambu foi inferior aos relatados por Marinho et al. (2012) que encontraram 66,66% e Brito et al. (2018) que obtiveram 68,11%.

3.2 Propriedades físicas dos painéis MLCC e BLCC

Na Tabela 2 estão descritos os valores médios obtidos para densidade aparente, umidade e absorção total de água dos painéis MLCC e BLCC

Tabela 2. Valores médios de densidade aparente, teor de umidade e absorção de água dos painéis.

Tratamentos	DA (g.cm ⁻³)	U (%)	AA (%)
T1	0,65 (0,05) a	12,40 (1,25) b	12,40 (1,25) b
T2	0,65 (0,03) a	9,85 (0,93) a	36,11 (6,31) b
T3	0,82 (0,06) b	12,70 (1,40) b	28,76 (0,98) c

T1: painéis de eucalipto, T2: painéis de seringueira; T3: painéis de bambu. DA: densidade básica; U: teor de umidade; AA: absorção total de água. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Fonte: Autores.

A partir da Tabela 2 verifica-se que os valores médios da densidade aparente dos painéis diferiram entre si. Os painéis compostos por bambu apresentaram maior valor médio. Supõe-se que este fato esteja relacionado com o arranjo anatômico do material. Brito et al. (2015) estudaram a composição anatômica do bambu *Dendrocalamus giganteus* em idade adulta e observaram valor médio de 2 vasos.mm⁻², evidenciando a quantidade escassa desses elementos anatômicos na espécie, além de fibras longas e estreitas. O comprimento de fibra explica a grande resistência mecânica que oferece a alguns produtos, como piso de bambu laminado colado, caixas e papel para embalagens.

Para os painéis de MLCC o valor obtido na literatura foi inferior ao obtido no presente trabalho. Paes et al. (2009) trabalharam com bambu laminado colado de bambu gigante produzidos com 5 lâminas com espessuras de 2 mm, comprimento de 45 cm e largura de 5 cm. Para colagem das lamelas utilizaram resorcinol-formol e poliacetato de vinila com gramatura de 500g.m⁻² em linha simples, pressão de 2,18 MPa e tempo de 3 horas. Os autores obtiveram valores de 0,68 e 0,74 g.cm⁻³, para os painéis colados com RF, valores inferiores ao obtido no presente trabalho.

O teor de umidade dos painéis variou entre 9,85 e 13,70% e evidenciou diferença significativa entre os tratamentos. Os painéis constituídos com lâminas de seringueira evidenciaram menor valor médio, diferindo dos demais. Os valores médios do teor de umidade situaram-se na faixa de 12% conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Este teor é considerado padronizado para a realização de testes físico-mecânicos em madeiras e outros materiais que contenham composição química semelhante a madeira, como o bambu.

Para absorção de água observou-se que todos os tratamentos diferiram entre si, sendo que os painéis constituídos com lâminas de seringueira apresentaram o maior valor médio de absorção de água. Esse fenômeno pode ter ocorrido em função do maior teor de holocelulose presente na seringueira em relação ao eucalipto e bambu (Tabela 1). Sendo assim, maiores quantidades de holocelulose ocasionam maior higroscopicidade, contribuindo para a variação dimensional em função da troca

de água com o meio (Borges, 2004).

Faria et al. (2019b) avaliaram painéis compostos por madeira de seringueira. Foram utilizadas sete lâminas para composição dos painéis (dispostas na mesma direção da grã) e dois adesivos para colagem: resorcinol-formaldeído com adição de 15% de catalisador e o poliuretano vegetal. O adesivo foi aplicado manualmente com espátula sobre a superfície das lâminas superior e inferior e três gramaturas (240, 280 e 320 g.m⁻²). Utilizou-se 1 MPa de pressão por 24 h à temperatura ambiente. Os autores obtiveram para a gramatura de 320 g.cm⁻², valor de umidade de 10,47%, densidade aparente de 0,725 g.cm⁻³ e absorção de água de 35,69%, valores semelhantes aos obtidos para os painéis confeccionados com seringueira.

3.3 Propriedades mecânicas dos painéis de MLCC e BLCC

Observa-se na Tabela 3 os valores médios obtidos de MOE e MOR paralelo e perpendicular a direção das fibras e cisalhamento dos painéis.

Tabela 3. Resultados médios MOE (MPa) e MOR (MPa) paralelo e perpendicular e cisalhamento dos painéis.

Tratamentos	MOE _{PAR}	MOR _{PAR}	MOE _{PERP}	MOR _{PERP}	C %
	MPa				
T1	1553,18 ^(125,8) a	35,87 ^(8,52) a	5905,42 ^(279,69) a	56,90 ^(7,87) a	3,68 ^(0,93) a
T2	2016,20 ^(150,60) b	42,84 ^(3,51) a	6838,39 ^(661,54) a	55,52 ^(5,51) a	3,25 ^(0,83) a
T3	1375,87 ^(141,13) a	38,60 ^(7,44) a	7192,40 ^(990,40) a	101,94 ^(12,89) b	3,66 ^(0,81) a

T1: painéis de eucalipto, T2: painéis de seringueira; T3: painéis de bambu, MOE_{PAR}: módulo de elasticidade paralelo às fibras; MOR_{PAR}: módulo de ruptura paralelo às fibras; MOE_{PERP}: módulo de elasticidade perpendicular às fibras; MOR_{PERP}: módulo de ruptura perpendicular às fibras; C: resistência ao cisalhamento na linha de cola. Médias seguidas por uma mesma letra na mesma coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Fonte: Autores.

Conforme a Tabela 3, verifica-se que o MOE_{PAR} dos painéis constituídos com lâminas de eucalipto e bambu evidenciaram as menores médias e foram estatisticamente equivalentes. Os painéis constituídos com madeira de seringueira evidenciaram maior valor médio. A redução na resistência do MOE_{PAR} observada nos painéis de eucalipto e bambu foi correspondente a 22,97 e 31,76%, respectivamente, em relação aos painéis constituídos com lâminas de seringueira. Esse resultado pode ter sido influenciado pelo menor teor de extrativos (Tabela 1), uma vez que, maiores teores podem dificultar a penetração do adesivo na madeira (Iwakiri, 2005). Soares et al. (2017) afirmam que a presença destes componentes químicos pode prejudicar o processo de colagem resultando em linhas de colas mais frágeis e baixa rigidez.

Outro fator a ser destacado é o teor de umidade, que foi menor nos painéis constituídos com madeira de seringueira (Tabela 2). A relação entre propriedade mecânica e umidade é diretamente proporcional, resultando numa resistência praticamente constante acima do ponto de saturação das fibras (PSF) e abaixo deste ponto, a resistência aumenta conforme o teor de umidade é reduzido (Logsdon & Calil, 2002).

Para o MOE_{PERP}, não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados, porém nota-se que há uma tendência dos painéis produzidos com lâminas de bambu evidenciarem maior valor médio. Para o MOR_{PERP} os mesmos painéis evidenciaram acréscimo significativo, correspondente a 44,86%, em relação aos painéis constituídos com madeira de eucalipto e seringueira. Supõe-se que este fato esteja relacionado a densidade dos painéis, pelo fato desta ter relação diretamente proporcional com as propriedades de resistência mecânica, conforme comentado anteriormente.

Brito et al. (2018) trabalharam com laminado colado de bambu gigante e utilizaram 300 g.m⁻² de adesivo a base de RF aplicado em linha dupla nas lamelas e pressão de 1,3 MPa aplicada durante seis horas. Foi obtida densidade básica de 0,70 g.cm⁻³. Os pesquisadores obtiveram valor médio de 5,57 MPa, superior ao obtido na presente pesquisa. Provavelmente, as

quatro lâminas utilizadas para produção do bambu laminado colado, causou um aumento na densidade.

Alencar e Moura (2014) avaliaram a qualidade e o desempenho de colagem utilizando lamelas de madeira, provenientes de reflorestamento. A gramatura foi de 400 g.m⁻². Foram utilizadas 100 partes de adesivo, 20 partes de água, 7 partes de catalizador preparado endurecedor HLE-30 e 20 partes de extensor a base de farinha de trigo. Os corpos de prova foram prensados a frio sob 1,2 MPa, durante 6 horas. Para os corpos de prova produzidos apenas com eucalipto colados no plano paralelo às fibras foi obtido valor de 8,71 MPa e no plano perpendicular 3,24 MPa, resultados inferiores aos obtidos no presente estudo.

Em relação a resistência ao cisalhamento na linha de cola, observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos. Paes et al. (2009) encontraram valores de 3,14 e 4,52 MPa para o BLC confeccionado com *Dendrocalamus giganteus*, tratados com água e CCB, respectivamente, aderido com resorcinol-formol. O tratado com água apresentou valor similar, enquanto o tratado com CCB foi superior ao presente estudo.

Os valores médios da resistência ao cisalhamento dos tratamentos avaliados foram próximos ao estudo de Ecker et al. (2017), que avaliaram lamelas do gênero *Pinus* para a produção de painéis CLT coladas com adesivo poliuretano monocomponente (200g.m⁻²), pressão de 1,2 MPa e tempo de 4 horas, obtiveram valor médio de 3,02 MPa, no sentido normal às fibras das lamelas, como também ao estabelecido para coníferas de acordo com a NBR 7190 (1997) que está entre 4 a 6 MPa. Segundo Nascimento et al. (2013), além das características da madeira, a pressão aplicada, o tempo de cura e o tipo de adesivo são fatores que interferem na qualidade da colagem do painel. Todos os tratamentos do presente estudo atingiram os valores mínimos especificados de 1 MPa conforme os requisitos normativos estabelecidos pela EN-314-2 (1993).

4. Conclusão

A espécie de eucalipto apresentou maior teor de extrativos totais, porém não influenciou na qualidade de colagem nos testes de resistência. O fator tratamento influenciou nas propriedades físicas avaliadas. Os painéis MLCC de bambu evidenciaram maior valor para densidade aparente de 0,82 g.cm⁻³. Para o teor de umidade, o menor valor foi observado para os painéis de MLCC de seringueira, assim como a maior taxa de absorção de água de 36,11 %.

Em relação as propriedades mecânicas, apenas o MOE_{PAR} e o MOR_{PERP} foram significativos. Os painéis constituídos com madeira de seringueira evidenciaram valor satisfatório para o MOR_{PAR} e MOE_{PERP}, enquanto os painéis de bambu obtiveram valor significativo indicando que suportam alta carga de elevada resistência, conforme estipulado pela Deutsches Institut Für Normung - DIN 68705 (1981). Para a resistência ao cisalhamento na linha de cola, todos os tratamentos avaliados atingiram os requisitos normativos estabelecidos pela European Standard – EN 314-2 (1993).

Dentre as espécies avaliadas, os painéis de bambu podem ser considerados promissores para produção dos painéis, uma vez que possuem importância ecológica e características sustentáveis para a indústria da construção civil.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) que colaboraram para a realização deste estudo.

Referências

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2003). ABNT. NBR 11941 - Madeira: determinação da densidade básica.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2010). ABNT. NBR 7989 - Pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido.

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2012). ABNT. NBR ISO 12466-1 - Madeira compensada: qualidade de colagem - Parte 1 - Métodos de ensaio.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017). ABNT. NBR 13999 - Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira: determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2010). ABNT. NBR 14853: Madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT. (1997). NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. ABNT. (2011). NBR 9486 - Compensado: determinação de absorção de água.
- Alencar, J. B. M. & Moura, J. D. M. (2014). Qualidade da adesão da madeira de pinus e eucalipto para produção de painéis estruturais cross laminated timber (CLT). In Anais, 15 Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído (pp. 3388-3397). Maceió, ENTAC. <https://doi.org/10.17012/entac2014.385>
- American Society for Testing and Materials. ASTM. (1995). D 143-94 - Standard methods of testing small clear specimens of timber. <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D143-94.htm>
- American Society for Testing and Materials. ASTM. (2012). ANSI/APA PRG 320 - Standard for performance-rated cross-laminated timber.
- Baño, V., Godoy, D. & Vega, A. (2016). Experimental and numerical evaluation of cross-laminated timber (CLT) panels produced with pine timber from thinnings in Uruguay. In Anais, 8 World Conference on Timber Engineering. Vienna, WCTE. file:///D:/Downloads/WCTE_2016_BaoGodoyandVega.pdf.
- Barbosa, J. C., Michelon, A. L. S., Araujo, V. A., Gava, M., Morales, E. A. M., Garcia, J. N., Lahr, F. A. R. & Christoforo, A. L. (2015). Medium density particleboard reinforced with bamboo laminas. *BioResources*, 10 (1), 330-335. <https://doi.org/DOI:10.15376/biores.10.1.330-335>
- Batista, D. C., Klitzke, R. J. & Santos, C. V. T. (2010). Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de Eucalyptus. *Ciências Florestais*, 20 (4), 667-674. <https://doi.org/10.5902/198050982425>
- Borges, L. M., Quirino, W. F. (2004). Higroscopicidade da madeira de Pinus caribaea var. hondurensis tratado termicamente. *Revista Biomassa & Energia* 1(2), 173-182.
- Brito, F. M. S., Paes, J. B., Oliveira, J. T. D., Arantes, M. D. C. & Fantuzzi Neto, H. (2015). Caracterização anatômica e física do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus* Munro). *Floresta & Ambiente*, 22 (4), 559-566. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.033913>
- Brito, F. M. S., Paes, J. B., Oliveira, J. T. D., Arantes, M. D. C., Dudecki, L. (2018). Chemical characterization and biological resistance of thermally treated bamboo. *Construction and Building Materials*, 262, 120033. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120033>
- European Committee for Standardization. CEN (1993). EN 314-2 - Plywood - Bonding quality - Part 2: Requirements. Brussels, Belgium. <https://apawood-europe.org/official-guidelines/european-standards/individual-standards/en-314-2/>
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. (2018). Economia do Bambu no Brasil: Tecnologia e Inovação na Cadeia Produtiva – Perspectivas e Desafios. Documento contendo o relatório técnico e analítico do seminário e da oficina de trabalho. https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/3368_Nota+T%C3%A9cnica+Cadeia+Produtiva+do+Bambu.pdf/2118fc55-dd2e-4a0c-994c-55525879fd2b?version=1.0
- Coradin, V. T. R., Camargos, J. A. A., Pastore, T. C. M. & Christo, A. G. (2010). Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos = Brazilian commercial timbers: interactive identification key based on general and macroscopic features. Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais.
- Drumond, P. M. & Wiedman, G. (2017). Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia. ICH.
- Deutsches Institut Für Normung DIN. (1981). DIN 68705-3: Plywood: building-veneer plywood. (DIN). Berlin, Alemanha. https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/DIN-68705-3-1981-456327_SAIG_DIN_DIN_1028106/
- Ecker, T. W. P., Miotto, J. L. & Turmina, G. (2017). Painéis de madeira laminada colada cruzada para lajes: avaliação experimental mecânica sob diferentes níveis de consumo de adesivo. *Ciência & Engenharia* 26(1), 17-25. <https://doi.org/10.14393/19834071.2017.38569>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. (2019). Transferência de tecnologia florestal. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Colombo, PR. <https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/perguntas-e-respostas>
- Eufrade Júnior, H. J., Ohto, J. M., Silva, L. L., Palma, H. A. L. & Ballarin, A.W. B. (2015). Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. *Journal of Wood Science*, 61(4), 384-390. <https://doi.org/10.1007/s10086-015-1478-7>
- Faria, D. L., Santos, C. A.; Furtini, A. C. C., Mendes, L. M. & Guimarães Júnior, J. B. (2019a). Qualidade da madeira de *Hevea brasiliensis* visando a produção de celulose e papel. *Agrarian Academy*, 6(11), 303-314. https://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2019a29
- Faria, D. L., Ribeiro, L. P., Oliveira, K. M. & Guimarães Júnior, J. B. (2019b). Propriedades físicas e mecânicas de painéis de lâminas paralelas (PLP) produzidos com madeira de *Hevea brasiliensis*. *Ciência da Madeira*, 10(3), 247-254. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v10n3p237-254>
- Forest Products Laboratory. (2010). Wood handbook – Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- Gallio, E., Schulz, H. R., Guerreiro, L., Cruz, N. D., Zanatta, P., Silva Júnior, M. A. P. & Gatto, D. A. (2020). Thermochemical behavior of *Eucalyptus grandis* wood exposed to termite attack. *Maderas Ciencia y Tecnologia*, 22(2), 157-166. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2020005000202>

- Giorgi, R. S. N., Quirino, V. A. & Meirelles, C. R. M. (2020). Contexto para a utilização da madeira como sistema estrutural em edifícios habitacionais/Context for the use of wood as a structural system in housing buildings. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 9760-9775. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-014>
- Huang, X., Li, F., Hoop, C., Jiang, Y., Xie, J. & Qi, J. (2018). Analysis of Bambusa rigida bamboo culms between internodes and nodes: Anatomical characteristics and physical-mechanical properties. *Forest Products Journal*, 68(2), 157-162. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-17-00035>
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). (2019). Relatório Anual 2019. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>
- Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ). (2020). Relatório Anual 2020. <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>
- Iwakiri, S. (2005). Painéis de Madeira Reconstituída. FUPEF.
- Iwakiri, S., Matos, J. L. M., Ferreira, E. S., Prata, J. G., Trianoski, R. (2012). Produção de Painéis Compensados Estruturais com Diferentes Composições de Lâminas de *Eucalyptus Saligna* e *Pinus caribaea*. *Revista Árvore*, 36(3). <https://doi.org/10.1590/s0100-67622012000300019>
- Iwakiri, S., Trianoski, R., Weber, A. M., Bonfatti Jr, E. A., Pereira, G. F., Bueno, J. A., Cechin, L. & Raia, R. Z. (2017). Efeitos do tratamento de partículas e aceleradores de endurecimento na produção de painéis cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. *Floresta*, 47(3), 289-296. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v47i3.51636>
- Kaboli, H., Clouston, P. L. & Lawrence, S. (2020). Feasibility of two northeastern species in three-layer ANSI-approved cross-laminated timber. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(3), e04020006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003058](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003058)
- Kazmierczak, S., Hillig, E. & Iwakiri, S. (2017). Painéis compensados fabricados com lâminas de três espécies de eucaliptos. *Floresta e Ambiente*, 24, e00111614. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.111614>
- Lima, A. L., Shirasuna, R. T., Mena, L. E. H., Lipschits, D. L., Pécora, A. A. B. & Bizzo, W. A. (2017). Potencial de produção sustentável a partir de bambus brasileiros: energia, biocombustíveis e matérias-primas. In: P. M. Drumond, G. Wiedman (Ed), *Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia* (pp. 601-625). Rio de Janeiro: ICH.
- Liu, Z., Fei, B., Jiang, Z., Cai, Z. & Liu, X. (2014). Important properties of bamboo pellets to be used as commercial solid fuel in China. *Wood Science Technology*, 48(5), 903-917. <https://doi.org/10.1007/s00226-014-0648-x>
- Logsdon, N. B. & Calil Junior, C. (2002). Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. *Cadernos de Engenharia de Estruturas* 4(18), 77-107.
- Lucena, R. C. (2017). Análise teórica de rigidez e resistência à flexão de painéis de madeira lamelada colada cruzada. 2017, 74p. (Trabalho de conclusão de curso). Engenharia Civil. Universidade de Santa Catarina. Florianópolis, SC. Brasil. <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182249>
- Mallo, M. F. L. & Espinoza, O. (2015). Conscientização, percepções e vontade de adotar a madeira laminada cruzada pela comunidade de arquitetura nos Estados Unidos. *Journal of Cleaner Production*, 94, 198-210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.090>
- Marinho, N. P., Nisgoski, S., Klock, U., Andrade, A. S. & Muñiz, G. I. B. (2012). Análise química do bambu-gigante (*Dendrocalamus giganteus* wall. ex munro) em diferentes idades. *Ciência Florestal*, 22(2), 417-422. <http://dx.doi.org/10.5902/198050985749>
- Melo, R. R., Stangerlin, D. M., Sousa, A. P., Cademartori, P. H. G. & Schneid, E. (2015). Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. *Ciência Rural*, 45(1), 35-42. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120970>
- Moraes, W. W. C., Haselein, C. R., Susin, F., Vivian, M. A. & Souza, J. T. (2018). Uso de *Bambusa tuldoidea* e *Eucalyptus grandis* para confecção de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, 28(2), 746-757. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509832088>
- Nascimento, A. M., Garcia, R. A., Della Lucia, R. M. (2013). Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. *Cerne* 19(4), 593-601. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602013000400009>
- Paes, J. B., Oliveira, A. K. F., Oliveira, E., Lima, C. R. (2009). Caracterização físico-mecânica do laminado colado de bambu (*Dendrocalamus giganteus*). *Ciência Florestal*, 19(1), 41-51. <https://doi.org/10.5902/19805098418>
- Parra-Serrano, L. J., Piva, M. E. M., Cerchiari, A. M. F., Lima, I. L. & Garcia, J. N. (2018). Use of *Hevea brasiliensis* Rubberwood for Glulam Beam Production. *Floresta e Ambiente*, 25(2), e038616. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.038616>
- Pereira, M. C. M. (2014). Metodologia para estudo da caracterização estrutural de painéis de madeira laminada colada cruzada. 2014, 107p. (Dissertação de Mestrado). Ciência e engenharia de materiais. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP. Brasil. <https://doi.org/10.11606/D.18.2015.tde-07052015-084252>
- Pinto, E. M., Machado, G.O., Felipetto, R. P. F., Christoforo, A. L., Lahr, F. A. R. & Calil Júnior, C. (2016). Thermal Degradation and Charring Rate of *Corymbia Citriodora* and *Eucalyptus Grandis* Wood Species. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 10 (Suppl 3), 450-456. <http://dx.doi.org/10.2174/1874836801610010450>
- Ramos, L. M. A., Latorraca, J. V. F., Castor Neto, T. C., Martins, L. S. & Severo, E. T. D. (2016). Anatomical characterization of tension wood in *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. *Revista Árvore*, 40(6), 1099-1107. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622016000600016>
- Riyaphan, J., Phumichai, T., Neimsuwan, T., Witayakran, S., Sungsing, K., Kaveeta, R. & Phumichai, C. (2015). Variability in chemical and mechanical properties of Pará rubber (*Hevea brasiliensis*) trees. *Science Asia*, 41(4), 251-258. <http://dx.doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2015.41.251>
- Rosa, R. A., Paes, J. B., Segundinho, P. G. A., Vidaurre, G. B. & Oliveira, A. K. F. (2016). Influências da espécie, tratamento preservativo e adesivos nas propriedades físicas do bambu laminado colado. *Ciência Florestal*, 26(3), 913-924. <https://doi.org/10.5902/1980509824220>

Segundinho, P. G. A., Silva, A. C., Gonçalves, F. G. & Regazzi, A. J. (2018). Caracterização da madeira laminada colada de *Eucalyptus* sp. produzida com adesivos resorcinol-fenol-formaldeído e poliuretano. *Ciência da Madeira*, 9(2), 123-133. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v9n2p123-133>

Silva, A. G., Costa, E., Binotti, F. F. S. & Scaloppi Júnior, E. J. (2018). A profundidade da semeadura afeta a velocidade da emergência de *Hevea brasiliensis*. *Revista Ciência Agrícola*, 6(3), 51-55. <https://doi.org/10.28998/rca.v16i3.4146>

Silveira, L. H. C., Rezende, A.V. & Vale, A. T. (2013). Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. *Acta Amazonica*, 43(2), 79-184. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672013000200007>

Soares, S. S., Guimarães Júnior, J. B., Mendes, L. M., Mendes, R. F., Protásio, T. P. & Lisboa, F. J. N. (2017). Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. *Ciência da Madeira*, 8(2), 64-73. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v8n2p64-73>