

## Eficiência de colagem de adesivo sustentável para espécies florestais plantadas

Caio Cesar Faedo de Almeida<sup>1</sup>, Geraldo Bortoletto Júnior<sup>2</sup>, Aline Maria Faria Cerchari<sup>1</sup>, José Nivaldo Garcia<sup>3</sup>, Diego Lima Aguiar<sup>1</sup>, Vanderlei Benedetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais / Universidade de São Paulo; <sup>2</sup> Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira / Universidade de São Paulo; <sup>3</sup> Laboratório de Engenharia da Madeira / Universidade de São Paulo;

**Resumo:** A tendência global por redução na emissão de substâncias nocivas à vida humana e ao ecossistema reflete nos produtos de madeira colada, de modo que a procura por adesivos livres de formaldeído é uma necessidade. O trabalho teve por objetivo comparar a colagem dos adesivos, poliuretano a base de óleo de mamona (PU), poliacetato de vinila (PVA) e ureia-formaldeído (UF), e as madeiras teca, pinus e eucalipto, resultando nove tratamentos. Foi empregada a Norma NBR 7190-97 para o ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, e o teste de Tukey a 5%. Os maiores valores de resistência foram observados para dois tratamentos com UF, os tratamentos com PU apresentaram valores intermediários sem influência da espécie, e o adesivo PVA apresentou os menores resultados nas madeiras mais densas. O adesivo sustentável (PU) demonstrou potencial para uso em produtos colados com o diferencial de não ser afetado negativamente pelas características da madeira.

**Palavras-chave:** Poliuretano, Óleo de mamona, Resistência ao cisalhamento.

### Sustainable adhesive bonding efficiency used on planted woods

**Abstract:** The global trend for reducing the emission of harmful substances into human life and the ecosystem reflects in bonded wood products, the demand for alternative formaldehyde-free adhesives is a necessity. the present work aimed to compare the bonding of efficiency of the adhesives castor oil-based polyurethane (PU), polyvinyl acetate (PVA), urea-formaldehyde (UF), and the woods teak, pine and eucalypt, resulting in nine treatments. the NBR 7190-97 standard was used for the glue line shear test, and the Tukey test at 5%. the highest values of resistance were observed for two UF treatments, treatments using PU showed intermediate values without wood influence, PVA presented the lowest results in the densest woods. the sustainable adhesive (PU) demonstrated potential for use in bonded products with the differential of not being negatively affected by wood characteristics.

**Keywords:** Polyurethane, Castor oil, Shear strength.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização da madeira para construção apresenta vantagens como o baixo peso em relação a uma alta resistência, baixo custo de processamento, a capacidade de resistir a sobrecargas de curta duração e longo prazo de utilização do material (Cunha & Matos, 2010). Além destas vantagens, a madeira ainda pode ser utilizada para vários produtos após processamento, adição e combinação com variados materiais. A partir da colagem de peças de madeira sólida na forma de sarrafos e tábuas podem ser gerados produtos tais como painéis colados lateralmente (EGP) e vigas de madeira laminada colada (GLULAM), para aplicações na indústria moveleira e construção civil (Iwakiri et al., 2013).

Contudo, as fortes tendências internacionais sobre a sustentabilidade de produtos de madeira têm influenciado a indústria desses produtos, principalmente no sentido de reduzir o uso de adesivos a base de formaldeído, seja por formulações com carga reduzida ou pela substituição por polímeros completamente livres da molécula (Boran et al., 2012; Li et al., 2009). Dentre as opções para o uso em produtos de madeira existem os poliuretanos à base de óleo de mamona, são produzidos pela reação de um polioli (óleo de mamona) e um diisocianato, onde o óleo de mamona têm se mostrado como um recurso natural renovável, biodegradável e de baixo custo, sendo utilizado como matéria-prima em diversos segmentos, dentre eles espumas rígidas, espumas flexíveis, elastômeros, revestimentos e mesmo como adesivos, evidenciando a vantagem na utilização deste produto (Zhang et al., 2019). Fiorelli et al. (2012) descrevem que este tipo de adesivo apresentou melhores resultados aos obtidos com ureia-formaldeído (UF), melhorando as características de resistência e higroscopicidade dos produtos. Neste contexto o trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de colagem de um adesivo sustentável para madeira e comparar o desempenho a dois adesivos industriais aplicados às madeiras de três espécies florestais plantadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para o ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, empregando-se a norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), foi utilizado madeira de *Tectona grandis*, *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. com massa específica aparente de 608, 338 e 740 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Foram obtidas 24 peças de madeira nas dimensões de 300x50x25mm em comprimento, largura e espessura. A redução da espessura abaixo do descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997) foi necessária para garantir a uniformidade da superfície e facilitar a aplicação dos adesivos testados.

O adesivo em teste para colagem das peças de madeira foi o poliuretano à base de óleo de mamona (PU) sintetizado em laboratório em sistema monocomponente, razão molar  $[NCO/OH] = 1,8$ , possibilitando uma maior fração de óleo em relação ao isocianato. Como comparação foram utilizados adesivos tradicionais para colagem da madeira, o poliacetato de vinila (PVA) e uréia-formaldeído (UF). A gramatura utilizada para o recobrimento da área de  $0,015\text{m}^2$  ( $0,30 \times 0,05\text{m}$ ) foi de  $260\text{ g/m}^2$ , o que correspondeu a 3g de adesivo por lâmina de cola, a aplicação foi manual com espátula e o controle da gramatura foi pelo método gravimétrico. O delineamento utilizado foi do tipo fatorial  $3 \times 3$ , com nove tratamentos, sendo os fatores, adesivo e espécie, como apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Tratamentos adotados para o teste de qualidade de colagem de madeira

Adesivo	Espécie		
	<i>Tectona grandis</i>	<i>Pinus</i> sp.	<i>Eucalyptus</i> sp.
PVA	T1	T4	T7
UF	T2	T5	T8
PU	T3	T6	T9

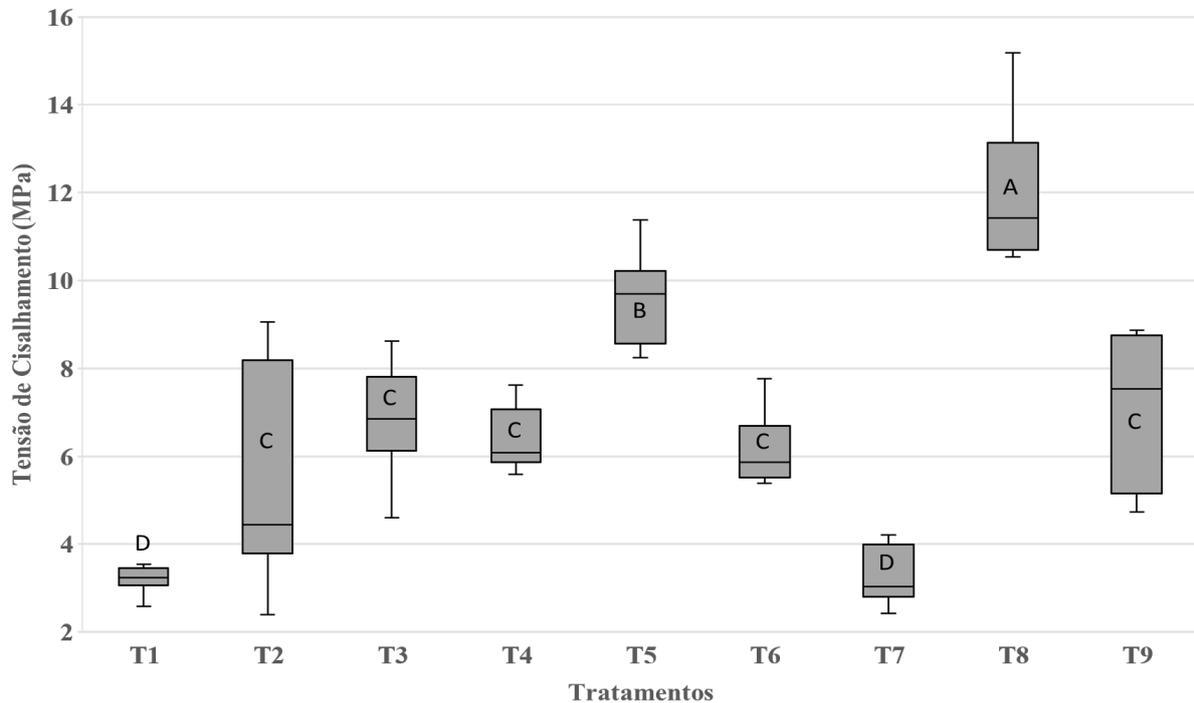
A prensagem a frio das peças coladas foi realizada no Laboratório de Engenharia da Madeira (LEM) da ESALQ/USP em uma prensa manual, com aplicação de pressão de 1 MPa e temperatura ambiente. O tempo de prensagem foi de 24h para os adesivos PVA e UF e 48h para PU. Após a colagem, as amostras foram climatizadas no Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeira e Derivados (LEMMAD) da ESALQ/USP, com temperatura de  $22 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $65\% \pm 5$  para uniformização da umidade em 12%.

Somente após a estabilização da umidade foram retirados os corpos de prova seguindo o procedimento descrito na norma NBR 7190 (ABNT, 1997), nas dimensões de  $50 \times 40 \times 50\text{ mm}$  em comprimento, largura e espessura. O ensaio mecânico para determinar a resistência ao cisalhamento na lâmina de cola das peças foi realizado no LEMMAD em máquina universal de ensaios, modelo UMC300, os parâmetros utilizados para o ensaio foram os descritos em norma, com carregamento monotônico crescente com taxa de carregamento de  $2,5\text{ MPa/min}$  (ABNT, 1997).

A análise estatística verificou a ocorrência de outliers e homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene a 5% de probabilidade, o número amostral por tratamento após a remoção dos dados discrepantes foi de oito repetições. Com confirmação da homocedasticidade dos dados prosseguiu a análise de variância, observada a diferença entre os tratamentos foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade para diferenciação dos tratamentos.

### 3. RESULTADOS

O resultado para resistência ao esforço de cisalhamento na lâmina de cola para cada um dos tratamentos desenvolvidos está apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Resistência ao cisalhamento na lâmina de cola de diferentes adesivos para madeira. Tratamentos com mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### 4. DISCUSSÃO

O adesivo UF aplicado nas madeiras de *Eucalyptus* (T8) e *Pinus* (T5) apresentou resultado significativamente superior aos demais tratamentos, sendo T8 (11,949 MPa e CV de 13,57%) estatisticamente superior à T5 (9,633 MPa, 10,86%). Entretanto, UF não apresentou o mesmo desempenho quando utilizado para *T. grandis* (T2), revelando resultado intermediário (5,691 MPa, 41,28%) aos demais. Este resultado pode estar associado ao elevado teor de extrativos observado para a madeira dessa espécie, que podem variar entre 3,35 até 11,54% (Garcia & Marinonio, 2016; Benedetti, 2018). Esta característica afeta negativamente a qualidade de colagem, os extrativos podem catalisar reações de cura do adesivo impossibilitando a colagem adequada na madeira (Iwakiri, 2005).

Valores intermediários da resistência de colagem foram observados para todos os adesivos testados nos tratamentos T2 (5,691 MPa, 41,28%), T3 (6,804 MPa, 18,28%), T4 (6,381 MPa, 11,14%), T6 (6,161 MPa, 13,16%) e T9 (7,092 MPa, 24,63%), com destaque para o adesivo PU em todas as três combinações de substrato utilizado (T3, T6 e T9). Esse resultado permitiu inferir que o adesivo do tipo PU apresentou características que minimizaram os fatores redutores de qualidade da colagem, tais como a influência da porosidade da madeira, da massa específica e da composição química do material. Esta característica que confere uma vantagem ao uso do adesivo PU, é devida a sua maior amplitude de aplicação nos diferentes substratos disponíveis sem redução de resistência.

O adesivo PVA apresentou menores valores de resistência ao cisalhamento da colagem nos tratamentos *T. grandis* T1 (3,166 MPa, 8,96%) e *Eucalyptus* T7 (3,260 MPa, 19,90%), diferenciando-os estatisticamente dos demais. Supõe-se que esse resultado é devido a menor porosidade dessas madeiras, cuja característica dificulta a penetração do adesivo. O tratamento T4 (6,381 MPa, 11,14%) corrobora a suposição levantada, pois, o resultado obtido para a madeira de *Pinus* sp. colada com PVA apresentou valor de resistência aproximadamente o dobro do observado para T1 e T7. Endo et al. (2017) aplicaram quatro formulações de PVA em madeira de *P. taeda* e obtiveram valores médios de resistência de colagem entre 5,03 e 5,63 MPa, os quais foram próximos aos obtidos no presente estudo com a madeira de *Pinus* sp.

## 5. CONCLUSÕES

O adesivo ureia-formaldeído (UF) apresentou maior resistência de colagem em relação aos demais, mas não teve o melhor desempenho quando aplicado à madeira de *Tectona grandis*.

O adesivo PVA na formulação utilizada não se mostrou eficiente para madeiras de baixa porosidade, a utilização de formulações de menor viscosidade pode ser uma alternativa viável para estes materiais.

O adesivo PU (Poliuretano monocomponente a base de óleo de mamona) mostrou resistência da colagem semelhante em todas as madeiras analisadas, indicando vantagem competitiva com os demais, pois, sua performance praticamente não foi alterada em função dos diferentes substratos.

## 6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-7190: projeto de estruturas de madeira. Rio de

Janeiro; 1997.

Benedetti V. Caracterização da madeira de teca plantada em diferentes idades e regiões para produção de piso [dissertação]. Piracicaba, USP-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”; 2018.

Boran S, Usta M, Sedat Ondaral S, Gümüşkaya E. The efficiency of tannin as a formaldehyde scavenger chemical in medium density fiberboard. *Composites Part B: Engineering* 2012; 43(5):2487-2491.

Cunha AB, Matos JLM. Determinação do módulo de elasticidade em madeira laminada colada por meio de ensaio não destrutivo (“stress wave timer”). *Árvore* 2010; 34(2):345-354.

Endo C, Trianoski R, Iwakiri S. Produção de EGP com diferentes adesivos PVAc e sistemas de prensagem. *Floresta e Ambiente* 2017; 24:e00147415.

Fiorelli J, Curtolo DD, Barrero NG, Savastano Jr. H, Pallone EMJA, Johnson R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. *Industrial Crops and Products* 2012; 40:69-75.

Garcia RA, Marinonio GB. Variação da cor da madeira de teca em função da densidade e do teor de extrativos. *Floresta e Ambiente* 2016; 23(1):124-134.

Iwakiri S. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: Fupef; 2005.

Iwakiri S, Trianoski R, Cunha AB, Prata JG, Hara M, Bila NF et al. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. *Scientia Forestalis* 2013; 41(99):411-416.

Li X, Li Y, Zhong Z, Wang D, Ratto JA, Sheng K, et al. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. *Bioresource Technology* 2009; 100:3556–3562.

Zhang J, Yao M, Chen J, Jiang Z, Ma Y. Synthesis and properties of polyurethane elastomers based on renewable castor oil polyols. *Journal Applied Polymer Science* 2019; 136(14):47309.