



4º CONGRESO
LATINOAMERICANO
DE ESTRUCTURAS
DE MADERAS

TÓPICO: 2. Transformação mecânica da madeira

ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM COMPENSADOS COLADOS COM ADESIVO NATURAL POLIURETANO À BASE DE MAMONA E COM ADESIVO FENOL-FORMALDEÍDO

Julia C. Athanázio-Heliodoro^{1*}, Gabriel F. D'Elacqua-Santos¹, Hernando A. Lara-Palma¹, Adriano W. Ballarin¹

¹Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – FCA - UNESP. Botucatu-SP, Brasil

* **Julia C. Athanázio-Heliodoro:** juliaheliodoro@hotmail.com

Resumo

O painel compensado possui usos consagrados na construção civil e indústria moveleira, além de usos específicos como, por exemplo, componentes de carrocerias de caminhões, onde está exposto com grande frequência à presença de água. Este trabalho, parte de um estudo mais amplo que possui o intuito de desenvolver painéis compensados de durabilidade prolongada quando expostos a condições adversas, compara o uso do tradicional adesivo fenólico, com o alternativo adesivo poliuretano à base de óleo de mamona, que além de hidrorrepelente, é biodegradável, não-tóxico e proveniente de fonte natural renovável. Os dois tipos de painéis foram produzidos com madeira de *Pinus taeda* em dimensões comerciais (1220mm × 2440mm), com utilização de 360 g.m⁻² de cola em linha dupla. Os painéis colados com a resina fenólica foram pré-prensados a frio e, posteriormente, prensados a quente por 20 minutos (pressão de 1,2 MPa e temperatura de 130°C) e os painéis produzidos com resina poliuretana foram prensados diretamente por 30 minutos (pressão de 1,2 MPa e temperatura de 65°C). A densidade foi 486kg.m⁻³ e 490kg.m⁻³ para painéis colados com resinas fenólica e poliuretana, respectivamente. A absorção de água evidenciou diferença estatística de comportamento nos dois tipos de painéis (p<0,01) sendo de 56% para painéis com resina fenólica e 42% para painéis com resina poliuretana.

Para o inchamento em espessura também foi detectada diferença estatística de comportamento: painéis prensados com resina poliuretana incharam 3,69% e tiveram inchamento mais recuperação em espessura de 6,16%; para painéis prensados com a resina fenólica estes valores foram de 6,11% e 9,69%, respectivamente. Os resultados diferenciados nas propriedades estudadas só pode ser atribuído ao efeito hidrorrepelente do adesivo poliuretano.

Palavras-chave: compensado, poliuretana, fenólica, inchamento.

ABSORPTION OF WATER AND SWELLING OF PLYWOOD PRODUCED WITH NATURAL POLYURETHANE ADHESIVE BASED ON CASTOR BEAN

Abstract

The plywood panel has established uses in the civil construction and furniture industry, as well as specific uses such as components of truck bodies, where it is frequently exposed to the presence of water. This work, part of a larger study that aims to develop longer duration plywood panels when exposed to adverse conditions, compares the use of the traditional phenolic adhesive with the alternative polyurethane adhesive based on castor oil which, in addition to be water repellent, is biodegradable, non-toxic and comes from a renewable natural source. The two types of panels were produced with *Pinus taeda* in commercial dimensions (1220mm × 2440mm), using 360 g.m⁻² glue in double line. The panels bonded using phenolic resin were pre-cold-pressed and then hot-pressed for 20 minutes (1.2 MPa pressure and 132°C temperature). Those produced with polyurethane resin were pressed directly for 30 minutes (pressure of 1.2 MPa and temperature of 65°C). The density was 486kg.m⁻³ and 490kg.m⁻³ for panels bonded with phenolic and polyurethane resins, respectively. The water absorption showed a statistical difference in behavior of the two types of panels ($p < 0.01$), being 56% for panels with phenolic resin and 42% for panels with polyurethane resin. For the swelling in thickness also was detected statistical difference of behavior: panels pressed with polyurethane resin swelled 3.69% and had swelling plus recovery in thickness of 6.16%; for panels pressed with the phenolic resin, the same values were of 6.11% and 9.69%, respectively. The differentiated results in the properties studied can only be attributed to the water repellent effect of the polyurethane adhesive.

Keywords: plywood, polyurethane, phenolic, swelling.

1. Introdução

Com usos consagrados na construção civil e indústria moveleira, o painel compensado também tem se destacado por usos específicos na indústria de ônibus, caminhões, vagões de trens e contêineres e por sua aplicação crescente como matéria-prima de construções habitacionais do tipo *Wood Frame*, sistema com mercado crescente devido à sua qualidade, custos competitivos e rápida execução.

É essencial que componentes produzidos com materiais higroscópicos como a madeira e que possam ser expostos à umidade, como é o caso de aplicações em carrocerias de meios de transporte e sistemas construtivos, tenham algum tipo de proteção hidrorrepelente para garantir sua maior durabilidade. A produção de painéis de madeira de maior resistência à umidade, aumentando assim a sua qualidade e durabilidade, diminuiria ainda mais a pressão sobre as florestas nativas e sobre os demais produtos não renováveis (TUFOLO NETTO, 2010).

Uma das opções para aumentar a capacidade hidrorrepelente dos compensados é a utilização de adesivos que tenham um comportamento hidrorrepelente, como é o caso do fenol-formaldeído (FF), tradicionalmente utilizado na indústria de compensados. O FF tem boa resistência à umidade, durabilidade e adesão com a madeira, sendo indicado para colagem de produtos para uso externo (FRIHART, 2013).

No entanto, esse adesivo apresenta alto consumo de energia devido às altas temperaturas exigidas para a cura, pode emitir formaldeído livre (na forma de gás) durante a prensagem e nos primeiros dias seguintes a ela, o que pode causar irritações nasais, nos olhos, garganta e pele, tosse e alergias (GUPTA; ULSAMER; PREUSS, 1982; MÄKINEN; KALLIOKOSKI; KANGAS, 1999; BÖHM; SALEM; SRBA, 2012), além de serem provenientes do petróleo, uma fonte não-renovável que dificulta o descarte dos resíduos e limita o seu uso (PETERSON, 1964; SAMLAIC, 1983).

Uma alternativa a esses adesivos seria o uso alternativo do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona que, além de possuir propriedades hidrorrepelentes, é biodegradável, não-tóxico e proveniente de fonte natural renovável (THORAT; TAYDE, 2015;

DIAS; LAHR; ROCCO, 2004). Este adesivo também pode ser utilizado para outras finalidades, por apresentar boas propriedades de adesão, versatilidade química, resistência ao intemperismo e flexibilidade de formulação, além de umectar efetivamente a superfície de fibras lignocelulósicas, promovendo boa ligação entre fibras de madeira (SILVA et al., 2010).

Este adesivo à base de mamona (*Ricinus communis*) – PU – tem se mostrado uma alternativa viável para uso em compensados (DIAS; LAHR; ROCCO, 2004) e outros painéis de madeira (FERRO et al., 2015; 2016; PEREIRA et al., 2016) pois permite manuseio e prensagem à temperatura ambiente - diminuindo os custos de produção - além de ser resistente à ação dos raios ultravioleta e possuir alta resistência mecânica (JESUS, 2000; AZAMBUJA; DIAS, 2006). A resina também já foi testada em laminados usados no interior de aeronaves, com resultados superiores ao adesivo de contato tradicional (BORGES, 2015) e tem potencial para produzir painéis de alta durabilidade (resistência biológica) devido às suas propriedades antifúngicas, antimicrobianas e antibacterianas (TAKANO et al., 2007; SALLES et al, 2015; GAHUKAR, 2017; SUURBAAR; MOSIBIL; DONKOR, 2017; BADARO et al., 2017).

Pesquisas recentes comprovaram a capacidade hidrorrepelente deste adesivo em EGP - painéis colados lateralmente (MÖLLEKEN, 2016, 2017) e em painéis aglomerados (SUGAHARA, 2018 e SUGAHARA et al, 2019) quando comparados a painéis colados com resina FF e UF.

Com o intuito de desenvolver painéis compensados de alta qualidade e durabilidade prolongada, produzidos com um adesivo que demande um menor consumo de energia para a cura, que não seja tóxico ou prejudicial ao meio ambiente e à saúde humana e que seja proveniente de fontes renováveis, busca-se com este trabalho verificar a efetividade da resistência à umidade de painéis compensados produzidos com dois tipos de adesivos.

2. Material e Métodos

2.1 Produção dos painéis compensados

A madeira utilizada na produção dos compensados foi proveniente de plantios de *Pinus taeda*. Foram estudados dois tratamentos: painéis compensados prensados com resina fenólica (FF) e painéis prensados com resina poliuretana (PU), com cinco repetições cada (10 painéis no total).

Todos os painéis compensados foram produzidos numa indústria de compensados, seguindo as variáveis do processo de fabricação usuais da indústria, bem como as recomendações dos fabricantes das resinas utilizadas. Foram confeccionados com sete lâminas (espessura nominal de 2,5mm cada) e dimensões comerciais (2440 mm de comprimento × 1220 mm de largura).

A resina fenol-formaldeído utilizada foi a CASCOPHEN HL-7090 HS da marca CASCO® - Hexion, com aplicação de 360 g.m⁻² (linha dupla de colagem). Os painéis produzidos com esta resina foram pré-prensados a frio a 6 kgf.cm² por 10 min e prensados a quente a 130°C a 12 kgf.cm² por 20 min.

A resina poliuretana à base de mamona utilizada foi a AGT 1315 da marca IMPERVEG®, sendo aplicada na mesma gramatura (360 g.m⁻² em linha dupla). Neste caso os painéis produzidos foram diretamente para a prensa a quente, a 60°C e 12 kgf.cm² por 30 minutos. A aplicação da resina PU, feita com rolos e de forma inédita em painéis com dimensões comerciais, foi precedida de testes-piloto preliminares com acompanhamento dos técnicos responsáveis da empresa IMPERVEG, fabricante da resina e apoiadora do projeto.

2.2 Confeção dos corpos de prova e ensaios gerais

Para avaliação do desempenho dos painéis compensados quando expostos à umidade foram realizados os ensaios de absorção e inchamento em espessura, atendendo-se no geral às prescrições das normas indicadas na Tabela 1 e da NBR 9488/2011, que determina as condições de amostragem de compensado para ensaio. Os ensaios foram realizados em corpos de prova condicionados à temperatura de 20 ± 3°C e umidade relativa de 65 ± 5% conforme prescrito na norma NBR 9489/2011.

Tabela 1. Ensaios realizados e normas utilizadas

Ensaios	Normas
Densidade aparente	ABNT NBR 9485 / 2011
Teor de umidade	ABNT NBR 9484 / 2011
Inchamento	ABNT NBR 9535 / 2011
Absorção	ABNT NBR 9486 / 2011

3. Resultados e Discussão

Os resultados (Tabela 2) evidenciam que para ambos os tratamentos – PU e FF – a umidade dos painéis foi de 8,1%. A densidade foi 486 kg.m⁻³ e 490 kg.m⁻³ para painéis colados com resinas fenólica e poliuretana, respectivamente, valores que não apresentaram diferença estatística entre si ao nível de 5% de probabilidade no teste-T, utilizado para verificar todos os resultados. Apesar de apresentarem pouca variação entre tratamentos e dentro de cada tratamento (coeficientes de variação de 0,2%) os valores encontrados ficaram abaixo dos normalmente apresentados na literatura para painéis compensados de *Pinus spp.* (MACEDO *et al.*, 2019 e CAMPOS *et al.*, 2009, por exemplo).

Tabela 2. Resultados dos ensaios físicos

	Fenólica	Poliuretana
Densidade (kg.m ³)	486 a	490 a
Umidade	8,10% a	8,05% a
Inchamento + Recuperação em espessura (I+RE)	9,70 a	6,17 b
Recuperação em espessura (RE)	3,59 a	2,47 a
Inchamento (I)	6,11 a	3,70 b
Absorção (A)	56% a	42% b

Nota: As médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste t ao nível de 5% de probabilidade (p < .05).

Os resultados (Figura 1) de Inchamento mais recuperação em espessura (I+RE), Inchamento (I), Recuperação em espessura (RE) e absorção (A) dos dois grupos de painéis compensados apontam sempre valores melhores, ou seja, menores níveis de absorção e inchamento para painéis prensados com a resina poliuretana.

Para a absorção de água evidenciou-se diferença estatística de comportamento dos dois tipos de painéis a nível de 1% de probabilidade no teste-T (p<0,01) sendo de 56% para painéis com resina fenólica e 42% para painéis com resina poliuretana mostrando a eficiência do adesivo alternativo para proteção do painel contra umidade. Ambos os resultados de absorção foram menores que os reportados por MACEDO *et al.* (2019) e CAMPOS *et al.* (2009), respectivamente de 65% e 68% que também utilizaram resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona para prensagem dos painéis.

No caso do teste de inchamento em espessura também foi detectada diferença estatística ao nível de 1% de probabilidade no comportamento: os painéis prensados com

resina poliuretana incharam 3,69% e tiveram inchamento mais recuperação em espessura de 6,16%; já painéis prensados com a resina fenólica, os valores foram bastante superiores: 6,11% e 9,69%, respectivamente.

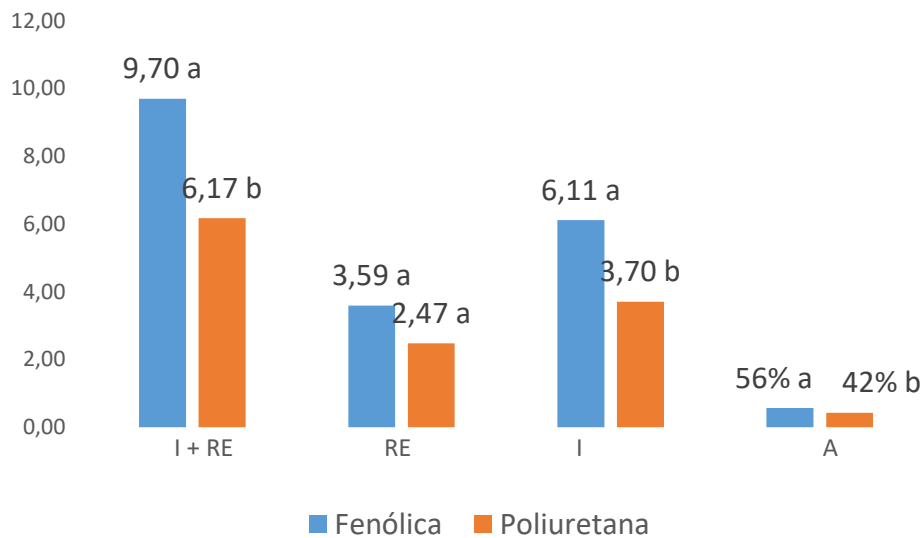


Figura 1. Resultados dos ensaios de Inchamento mais recuperação em espessura (I+RE), Inchamento (I), Recuperação em espessura (RE) e absorção (A)

Para os dois tratamentos estudados (FF e PU) não foi constatada diferença significativa entre a densidade do painel e sua absorção de água, como havia sido reportado por constatado por Campos *et al.*(2009).

4. Conclusão

Houve influência significativa do tipo de adesivo (FF e PU) na absorção de água e inchamento em espessura dos painéis. O melhor desempenho dos painéis PU só pode ser atribuído ao efeito hidrorrepelente do adesivo poliuretano.

Os resultados mostraram também que não houve influência da densidade do painel compensado na absorção de água.

5. Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio das seguintes instituições: Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu – FCA/UNESP; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP; Instituto de Pesquisas tecnológicas – IPT e Fundação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – FIPT.

2011

6. Bibliografia

- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2011) **NBR 9486** - Compensado - Determinação da absorção de água – Requisitos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2011) **NBR 9488** - Amostragem de compensado para ensaio – Requisitos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1986) **NBR 9484** - Compensado – determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1986) **NBR 9485** - Compensado – determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2011) **NBR 9489** - Condicionamento de corpos de prova de compensados para ensaios – Requisitos. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2011) **NBR 9535** - Painéis de madeira compensada: determinação da recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura. Rio de Janeiro.
- Azambuja, M. A.; Dias, A. A. (2006) Use of castor oil-based polyurethane adhesive in the production of glued laminated timber beams. **Mat. Res.**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 287-291.
- Badaro, M.M.; Salles, M.M.; Leite, V.M.F.; Arruda, C.N.F.; Oliveira, V.C.; Nascimento, C.; Souza, R.F.; Paranhos, H.F.O.; Silva-Lovato, C.H. (2017) Clinical trial for evaluation of *Ricinus communis* and sodium hypochlorite as denture cleanser. **J. Appl. Oral Sci.**, Bauru , v. 25, n. 3, p. 324-334.
- Böhm, M.; Salem, M.Z.M.; Srba, J. (2012) Formaldehyde emission monitoring from a variety of solid wood, plywood, blockboard and flooring products manufactured for building and furnishing materials. **Journal of Hazardous Materials**, 221–222, 68–79.
- Borges, A.T. (2015) Avaliação Preliminar da Aplicação de Adesivo de Poliuretano a Base de Mamona no Interior de uma Aeronave. **Tese** (Engenharia Aeronáutica Espacial). ITA.
- Campos, C.I.; Morais, R.D.V; Nascimento, M.F. (2009) Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzida com *Pinus* spp. e resina poliuretana bi-componente. **Revista Madeira arquitetuta & engenharia**. N. 24. 10.
- Dias, F. M.; Lahr, F. A. Rocco. (2004) Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Mat. Res.**, São Carlos , v. 7, n. 3, p. 413-420.

Ferro, F. S.; Almeida, T. H.; Almeida, D. H.; Christoforo, A. L.; Rocco Lahr, F. A. (2016) Physical Properties of OSB Panels Manufactured with CCA and CCB Treated *Schizolobium amazonicum* and Bonded with Castor Oil Based Polyurethane Resin. **International Journal of Materials Engineering**. 6(5): 151-154.

Ferro, F. S.; Icimoto, F. H.; Souza, A. M.; Almeida, D. H.; Christoforo, A. L.; Rocco Lahr, F. A. (2015) Produção de painéis de partículas orientadas (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 313-320.

Frihart, R. C. (2013) **Wood Adhesion and Adhesives**. In: ROWELL, M. R. Handbook of wood chemistry and wood composites. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, Cap. 9.

Gahukar, R.T. (2017) A review of castor-derived products used in crop and seed protection, **Phytoparasitica**, 45: 655.

Gupta, K.C.; Ulsamer, A.G.; Preuss, P.W. (1982) Formaldehyde in indoor air: Sources and toxicity, **Environment International**, 8, 1–6, 349-358.

Jesus, J.M.H. (2000) Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). São Carlos, 106p. **Tese** (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Macedo, L. B. De; Aquino, V. B. De M.; Wolenski, A. R. V.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. (2019) Paineis híbridos de lâminas e partículas de madeira para uso estrutural. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 15-23.

Mäkinen, M.; Kalliokoski, P.; Kangas, J. (1999) Assessment of total exposure to phenol-formaldehyde resin glue in plywood manufacturing. **Int Arch Occup Environ Health**, 72: 309.

Mölleken, R.E.; Trianoski, R.; Neto, S.C.; Pereira, C.R.; Iwakiri S.; Azevedo, E.C. (2016) Evaluation of pressing time in the production of edge glued panel with adhesive polyurethane derived from castor oil. **Appl Adhes Sci**. 4:9.

Mölleken, R E. (2017) Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Pereira, C. R.; Mölleken, R. E.; Souza, F. H.; Capellari, G. S.; Claro Neto, S.; Azevedo, E. C. (2016) Evaluation of MDF bonding with polyurethane of castor oil. **Applied Adhesion Science**. 4:13.

Peterson, R.W. (1964) Wood adhesives, **Forest Products Research Branch**. Ottawa, n. 1055.

Salles, M.M.; Badaró, M.M.; Arruda, C.N.F.; Leite, V.M.F.; Silva, C.H.L., Watanabe, E.; Oliveira, V.C.; Paranhos, H.F.O. (2015) Antimicrobial activity of complete denture cleanser solutions based on sodium hypochlorite and *Ricinus communis* – a randomized clinical study. **Journal of Applied Oral Science**, 23(6), 637-642.

Samlaic, J. (1983) Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira, **Revista da Madeira**, n. 374, p. 7-10.

Silva, B. B. R.; Santana, R. M. C.; Forte, M. M. C. (2010) A Solventless Castor Oil based PU adhesive for wood and foam substrates. **International Journal of Adhesion and Adhesives**. Porto Alegre/RS, Brazil, p. 559-565. 15 May.

Silva, B.C.; Vieira, M.C.; Oliveira, G.L.; Gonçalves, F.C.; Rodrigues, N.D.; Lelis, R.C.C.; Iwakiri, S. (2012) Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, 19(4):511-519.

Sugahara, E. S. (2018) Painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto e bagaço de cana, com adesivos ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona. **Tese de doutorado**.

Sugahara, S.E.; Da Silva, A.M.S.; Buzo, S.C.A.; De Campos, I.C.; Morales, M.E.; Ferreira, S.B.; Azambuja, A.M.; Rocco Lahr, F.; Christoforo, A. (2019) High-density Particleboard Made from Agro-industrial Waste and Different Adhesives. **BioResources**, 14(3), 5162-5170.

Suurbaar, J.; Mosobil, R.; Donkor, A. (2017) Antibacterial and antifungal activities and phytochemical profile of leaf extract from different extractants of *Ricinus communis* against selected pathogens. **BMC Research Notes**, 10:660.

Takano, E.H.; Busso, C.; Golçalves, E.A.L.; Chierice, E.O.; Catanzaro-Guimarães, S.A.; Catro-Prado, M.A.A. (2007) Inibição do desenvolvimento de fungos fitopatogênicos por detergente derivado de óleo da mamona (*Ricinus communis*). **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 5, p. 1235-1240.

Thorat, P. V.; Tayde, S. S. (2015) A Review on Castor Oil based Polyurethane Adhesive. **International Journal of Emerging Trend in Engineering and Basic Sciences**. 2, 2, 97-102.

Tufolo Netto, H.; Gaiane, J. H.; Carlos, V. J. (1986) Uso de compensados de madeira tratada a pressão, no Brasil. **Anais**. II Encontro Brasileiro em preservação de madeiras.