



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RESISTÊNCIA DE ADESIVOS POLIURETANOS EM SUBSTITUIÇÃO AO ADESIVO RESORCINÓLICO EM MADEIRA DE *Pinus* sp.

Jéssica Dornelas Soares¹

Luciano Junqueira Costa²

Matheus Fernandes de Carvalho Reis²

Camila Batista da Silva Lopes²

Thaís Pereira Freitas²

Larissa Carvalho Santos²

Lívia Dal Sasso de Souza³

Angélica de Cássia Oliveira Carneiro²

¹ Universidade Federal de Viçosa

² Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Florestal

³ Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO NA COLAGEM DE MADEIRA DE *Pinus* sp. COM ADESIVO POLIURETANO

Resumo: O adesivo mais recomendado para utilização em fins estruturais é o resorcinol formaldeído, pois este apresenta uma elevada resistência mecânica e resistência a ação intempéries. Porém, o adesivo resorcinol formaldeído apresenta um custo elevado, difícil aquisição, e emissão de formaldeído. Como alternativa, têm-se buscado a substituição do resorcinol por adesivos que também apresentem propriedades satisfatórias, como os adesivos poliuretanos e a base de óleos vegetais. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência na linha de cola de adesivos poliuretanos e a base de mamona para a substituição dos adesivos resorcinólicos em madeira de pinus. Utilizou-se juntas de madeira de *Pinus* sp. coladas com os adesivo resorcinol formaldeído e dois adesivos poliuretanos: à base de mamona e Desmodur XP 2665, aplicados em gramatura de 250 g/m². Foi determinado a resistência ao cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira, na condição seca. Para a resistência ao cisalhamento os adesivos poliuretânicos XP 2665 e a base de mamona não diferiram estatisticamente do resorcinol formaldeído. O adesivo resorcinol formaldeído apresentou maior falha da madeira quando comparado com os adesivos poliuretânicos. O adesivo Desmodur XP 2665 apresentou potencial para uso estrutural podendo substituir o adesivo resorcinol formaldeído.

Palavras-chave: resistência ao cisalhamento, adesivos, resorcinol formaldeído.

RESISTANCE OF POLYURETHANE ADHESIVES IN REPLACEMENT TO THE RESORCINOLIC ADHESIVE OF *Pinus* sp.

Abstract: The most recommended adhesive for use in structural purposes is resorcinol formaldehyde because it has high mechanical resistance and weather resistance. However, the resorcinol formaldehyde adhesive presents a high cost, difficult acquisition, and emission of formaldehyde. Alternatively, resorcinol has been replaced for adhesives which also have satisfactory properties, such as polyurethane adhesives and vegetable oils based. The objective of this work was to evaluate the resistance in the glue line of polyurethane adhesives and the castor oil based for the replacement of the resorcinol adhesives in *Pinus* sp. Wood joints of *Pinus* sp. were bonded with resorcinol formaldehyde adhesive and two polyurethane adhesives: castor-based and Desmodur XP 2665, applied in an amount of 250 g / m². The shear strength in the glue line and the percentage of failure in the wood in the dry condition were determined. For shear strength, XP 2665 polyurethane adhesives and castor oil based did not differ statistically from resorcinol formaldehyde. The resorcinol formaldehyde adhesive presented greater wood failure when compared to the polyurethane adhesives. The Desmodur XP 2665 adhesive presented potential for structural use and may replace the resorcinol formaldehyde adhesive.

Keywords: shear strength, adhesives, resorcinol formaldehyde.

1. INTRODUÇÃO

Os produtos reconstituídos de madeira, produzidos a partir da colagem de lâminas, tábuas, sarrafos, partículas ou fibras de madeira, são principalmente utilizados pela

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

indústria moveleira e na construção civil. Essa substituição de madeira maciça por produtos de madeira reconstituída ocorre devido a uma tendência mundial, em diversos setores, com a finalidade de ganhos ambientais, sociais e econômicos, visto que, o processamento da madeira na indústria de painéis reconstituídos possibilita o uso de madeiras menos nobres transformando-a em um produto de maior valor agregado, além da diminuição na pressão sobre florestas nativas, pela utilização de madeira de florestas plantadas (GONÇALVES *et al*, 2016).

As propriedades dos painéis de madeira estão diretamente relacionadas ao processamento (colagem e prensagem), matéria-prima e o adesivo utilizado, que são definidas pelas propriedades requeridas pelo produto final de utilização.

A colagem de madeiras envolve três conceitos: a adesão, mecanismo de interação entre superfícies sólidas; o adesivo, material capaz de unir outros materiais; e o aderente, materiais sólidos unidos por um adesivo (BIANCHE, 2014). A formação da linha de cola e a qualidade da ligação adesiva depende das propriedades químicas, físicas e estruturais do adesivo e da madeira, do tempo de cura e a pressão de colagem. Além da relação adesivo/aderente, que são influenciados pela solubilidade, fluidez e viscosidade do adesivo e rugosidade do aderente, que ditam a penetração do adesivo, resultando em uma ligação mais ou menos resistente (FOLLRICH *et al.*, 2007).

O adesivo além de aderir dois substratos tem a função de preencher espaços vazios entre as juntas, gerando interações entre o adesivo e o substrato e estabelecendo ligações químicas entre as peças de madeira (PIZZI, 1994). A qualidade dos painéis é avaliada por meio de suas propriedades físico-mecânicas, tais como ligação interna; flexão estática; resistência ao arrancamento de pregos e parafusos; densidade; absorção de água; e inchamento em espessura (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Os adesivos sintéticos empregados em peças estruturais de madeira exigem propriedades compatíveis às condições ambientais de temperatura e umidade em que os elementos estarão submetidos durante a sua vida útil (ABNT, 1997).

O adesivo mais utilizado e recomendado no Brasil atualmente para fins estruturais é o resorcinol-formaldeído. O adesivo à base de resorcinol garante uma boa ligação com elevada resistência mecânica e a ação do tempo, da água e da temperatura, este adesivo é classificado como termoendurecedor ou termofixo, por apresentar modificações químicas e físicas irreversíveis, o tornando rígido e insolúvel pela reação de policondensação (PIZZI e MITTAL, 1994).

Porém, apesar de apresentar propriedades excelentes para utilização em projetos estruturais de madeira o adesivo à base de resorcinol tem um custo elevado quando comparado a outros adesivos com tal finalidade, difícil aquisição, por possuir apenas três plantas de produção no mundo, além de emitir formaldeído (DUNKY *et al.*, 2002). Como alternativa para contornar essas desvantagens, têm-se buscado a substituição do resorcinol por adesivos que também apresentem propriedades satisfatórias, como por exemplo, os adesivos poliuretanos.

Nos adesivos poliuretanos a reação química ocorre de duas fases. Primeiramente ocorre uma mudança do estado líquido para o sólido, assumindo um comportamento termoplástico, e posteriormente o grupo químico isocianato presente no adesivo reage com o grupo hidroxílico (OH) da madeira e com a umidade do ar, produzindo uma estrutura reticular semelhante a um adesivo termorrígido (GARCIA e RECH, 2011).

Os adesivos poliuretanos têm como vantagem, a cura rápida, não emitir formaldeído, possuir alta resistência mecânica e à umidade, serem manipulados à temperatura ambiente

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

e menor custo que o adesivo resorcinólico. Porém, como desvantagem, dependem de produtos derivados do petróleo, o que desde a década de 70 tornou-se um problema devido à crise do petróleo e por questões ambientais (MARRA, 1992).

Adesivos poliuretanos a base de mamona vêm sendo estudados desde 1940 e tem apresentando resultados satisfatórios em relação à determinação de parâmetros de colagem e resistência, além de apresentarem resistência à umidade, menor custo e não emanarem formaldeído (CERCHIARI, 2013). Porém, os estudos ainda são escassos, sendo necessário o desenvolvimento de projetos de pesquisa para avaliação desses adesivos

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência na linha de cola de adesivos poliuretanos e a base de mamona para a substituição dos adesivos resorcinólicos em madeira de pinus.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

Utilizou-se madeira de *Pinus* sp., nas dimensões de 40 cm de comprimento, 5 cm de largura e 2 cm de espessura, secas em estufa até alcançarem a umidade média de 12%.

O experimento foi realizado utilizando-se três tipos de adesivos: resorcinol-formaldeído, o adesivo monocomponentes Desmodur XP2665 e o adesivo bicomponente Rescin Adepol 506, combinado com Biopol ISO popularmente conhecido como adesivo de mamona com relação molar de 2:1 proveniente da empresa Poly-Urethane.

Na tabela 1, estão apresentados os valores médios das propriedades dos adesivos.

Tabela 1. Valores médios das propriedades dos adesivos

Propriedade dos adesivos	Adesivos		
	Resorcinol	Desmodur XP2665	Mamona
Viscosidade (cP)	1963	5250	>10.000
Teor de sólidos (%)	70,0	85,3	98,8
pH	8,0	6,1	6,0
Tempo de trabalho (min)	120	35	30

A escolha das lâminas foi feita em pares, selecionando aquelas isentas de defeitos visíveis e considerou-se a massa das mesmas. O adesivo de mamona foi preparado segundo orientações do fabricante, em uma relação de resina/poliol de 2:1. Fixou-se uma gramatura de 250 g/m² em face dupla, para todos adesivos. A aplicação do adesivo foi feita com auxílio de um pincel para o melhor espalhamento do adesivo.

A prensagem das juntas foi realizada a frio, por um período de 24 horas. Utilizou-se uma prensa manual, composta de três pares de barras rosqueadas em aço para viabilizar a aplicação da pressão de colagem. Para controle da aplicação de pressão utilizou-se um torquímetro manual calibrado com pressão de 10 Kg/cm².

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Procedeu-se a retirada dos corpos de prova das juntas coladas de acordo com a norma NBR 7190/97. Foi determinado a resistência ao cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira, na condição seca, segundo os procedimentos da norma NBR 7190/97.

A área de cisalhamento dos corpos de prova foi medida com um paquímetro manual. Os percentuais de falha na madeira foram mensurados com o auxílio de lâminas transparentes quadriculadas, sendo que suas respectivas áreas foram delimitadas em porcentagem.

O experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 3 tratamentos (adesivos), com 14 repetições, totalizando 42 unidades amostrais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) quando houve efeito dos tratamentos realizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do software STATISTICA 7.0.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 são apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento (MPa) da madeira de pinus, na condição seca, em função do tipo de adesivo.

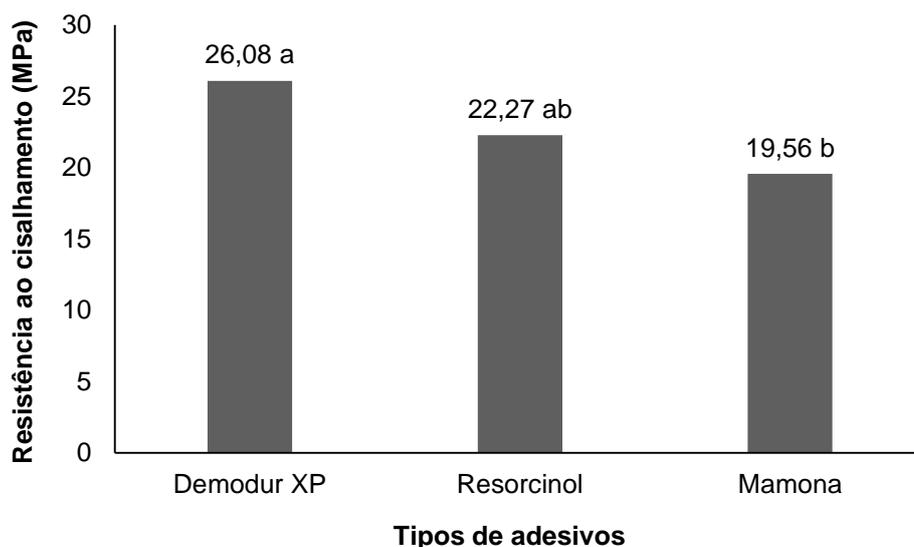


Figura 1. Valores médios de resistência ao cisalhamento (MPa) da madeira de pinus.

O adesivo Desmodur XP e o adesivo de mamona apresentaram diferença estatística para a resistência ao cisalhamento na linha de cola das madeiras, na condição seca. Já para o adesivo resorcinol não houve diferença estatística com os adesivos avaliados.

O adesivo poliuretano Desmodur XP apresentou os maiores valores de resistência para o cisalhamento na linha de cola da madeira, na condição seca. O mesmo foi observado por Silva et al. (2006), avaliando a viabilidade da produção de painéis MDF fabricados com madeiras das espécies *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* e adesivos poliuretanos mono e bicomponente derivados do óleo de mamona, concluíram que o adesivo poliuretano monocomponente com *Pinus caribaea* conduziu melhores resultados das propriedades físicas

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

e mecânicas em relação aos adesivos bicomponentes derivados do óleo de mamona. O bom desempenho dos adesivos poliuretanos se dá pelo fato de formarem ligações de hidrogênio e ligações covalentes com substratos que tenham hidrogênio ativo (SEBENIK e KRAJNC, 2007).

A menor resistência foi encontrada para o adesivo de mamona, provavelmente pela pré-polimerização do adesivo, devido a rápida reação entre o polioli e o isocianato, ocasionando uma alta viscosidade, que pode ter afetado as funções de movimentos e mobilidade do adesivo na madeira (IWAKIRI, 2005). Beraldo e Dias (2008), não recomendam o uso do adesivo de mamona, com razão de mistura superior a 1,5:1 de polioli/isocianato, diferente do utilizado nesse estudo de 2:1.

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios para falha na madeira de pinus, na condição seca, em função do tipo de adesivo.

Tabela 2. Valores médios de porcentagens de falha na madeira de pinus, condição seca, em função do tipo de adesivo

Tratamentos	% Falhas na madeira
Resorcinol	58,92 a
Desmodur XP	40,71 b
Mamona	17,14 c

Médias ao longo das linhas seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si ($p>0,05$) pelo teste de Tukey.

Houve diferença estatística entre os valores de falha na madeira entre os diferentes adesivos. Maiores valores para o percentual de falha na madeira indicam que houve uma boa adesão, pois demonstram que a interface madeira-adesivo são mais altas que a resistência da própria madeira (ASTM, 2000).

Os maiores percentuais de falha na madeira foram encontrados para o adesivo resorcinol. A alta reatividade da estrutura química do resorcinol resultantes da presença das hidroxilas no anel aromático contribui para uma maior ligação com as hidroxilas da madeira, aumentando a adesão química. As ligações primárias entre aderente e o adesivo são as forças envolvidas na adesão química e são responsáveis pela resistência e duração da ligação adesiva (PIZZI e MITTAL, 1994).

O adesivo de mamona apresentou menores percentuais de falha na madeira, consequência da sua alta viscosidade que dificultou o espalhamento do adesivo sobre a madeira, comprometendo a ligação adesiva. A rápida reação entre o polioli e o isocianato provavelmente ocasionou uma pré-cura do adesivo e este não penetrou para o interior da madeira, conforme também foi observado por Frihart (2005).

4. CONCLUSÕES

Para a resistência ao cisalhamento os adesivos poliuretânicos XP 2665 e a base de mamona não diferiram estatisticamente do resorcinol formaldeído.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

O adesivo resorcinol formaldeído apresentou maior falha da madeira quando comparado com os adesivos poliuretânicos.

O adesivo Desmodur XP 2665 apresentou potencial para uso estrutural podendo substituir o adesivo resorcinol formaldeído.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a Fapemig e a Capes pelo apoio financeiro, ao LAPEM (Laboratório de Painéis e Energia da Madeira), a Universidade Federal de Viçosa pelo apoio prestado ao desenvolvimento deste trabalho e à empresa Poly-Urethane pela doação do material utilizado neste estudo

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS -ASTM. Annual book of ASTM standards. Section 20. Volume 15.06 – Adhesives. West Coshohocken, 2000. 600 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BERALDO, D.D.; DIAS, A.A. Avaliação do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona sob diferentes condições de umidade em ensaios de resistências de emendas dentadas. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 11. Anais... Londrina, PR. 2008. CD-ROM

BIANCHE, J.J. Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura. 2014, 85p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

CERCHIARI, A.M.F. Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de *Cupressus lusitânica*, *Corymbia maculata* e *Hevea brasiliensis*. 2013, 105p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.

DUNKY, M.; PIZZI, A.; LEEMPUT, M. V. Wood adhesion and glued products. State of the Art—Report, COST-Action E, v. 13, 2002.

FOLLRICH, Jürgen et al. Effect of grain angle on shear strength of glued end grain to flat grain joints of defect-free softwood timber. Wood science and technology, v. 41, n. 6, p. 501-509, 2007.

GARCIA, A.; RECH, M. Adesivos para a madeira e móveis. Revista da madeira. Ed 128. 2011. Disponível em: < <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>>. Acesso em: 05/05/2017.

IWAKIRI, Setsuo et al. Painéis de madeira aglomerada. Painéis de madeira reconstituída. Curitiba: FUPEF, p. 123-166, 2005.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

MARRA, A. A. Technology of wood bonding – principles in practice. New York, VanNostrand Renhold. 1992. p 453.

PIZZI, A. Advanced wood adhesives technology. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.

PIZZI. A.; MITTAL, K. L. Handbook of adhesive technology. New York: Marcel Dekker, 1994.

RENZO, R. Painel estrutural de lâminas paralelas (PLP) de *Eucalyptus grandis* utilizando adesivo resorcinólico, taninos e poliuretano derivado de óleo de mamona. 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). – Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2008.

ŠEBENIK, Urška; KRAJNC, Matjaž. Influence of the soft segment length and content on the synthesis and properties of isocyanate-terminated urethane prepolymers. International journal of adhesion and adhesives, v. 27, n. 7, p. 527-535, 2007.

SILVA, S.A.M.da.; CHRISTOFORO, A.L.; PANZERA, T.H.; LAHR, F.A.R. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. Vértices, Campos dos Goytacazes-RJ, v.15, n.1, p. 7-20, jan./abr.2013.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

