

DESEMPENHO DE JUNTAS ESTRUTURAIS EM MADEIRA LAMINADA COLADA DE EUCALIPTO UTILIZANDO ADESIVOS RESORCINOL E MAMONA

STEPHANIE VICENTE MOI^{1*}, SANDRA MARIA FERREIRA COURI PETRAUSKI²; ALFREDO PETRAUSKI³;

¹Discente de Engenharia Civil CCET, UNIOESTE, Cascavel-PR, stephanievmoi@gmail.com

²Dra. Pesquisadora, UNIOESTE, Cascavel-PR, sandra.petrauski@unioeste.br

³Dr. Pesquisador, UNIOESTE, alfredo.petrauski@unioeste.br

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Neste trabalho, pretendeu-se contribuir com o estudo de sistemas de ligações madeira-madeira usando exclusivamente adesivo. O principal objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de juntas estruturais em madeira laminada colada sujeitas a ações compatíveis com aquelas presentes em nós rígidos de pórticos de uso corrente. As juntas estruturais, construídas em escala real, foram feitas inteiramente coladas com lâminas de *Eucalyptus sp.* usando dois diferentes adesivos. Três juntas utilizaram adesivo à base de resorcinol formaldeído e duas juntas o adesivo à base de óleo de mamona. As peças foram submetidas a testes de carga em máquina universal de ensaio. As juntas foram julgadas por critérios de resistência e rigidez. Independente do adesivo empregado, as juntas apresentaram uma relação média entre carga de ruptura e carga de projeto de 3,86. O incremento das tensões nos bordos comprimidos demonstrou a ocorrência de plastificação para juntas confeccionadas com madeira de menor densidade. Nos bordos tracionados das juntas, percebeu-se um comportamento linear para cargas próximas à de ruptura. Os modos de ruptura não caracterizaram uma falha do sistema de ligação colado proposto. Por fim, recomenda-se o emprego de ligações coladas em pórticos retos em madeira laminada colada, aptos ao emprego em pequenas e médias edificações e que exijam colagem em ângulo, entre as lâminas de madeira.

PALAVRAS-CHAVE: Estruturas, Eucalyptus, Adesivos.

PERFORMANCE OF STRUCTURAL JOINTS IN GLUED LAMINATED TIMBER OF EUCALYPTUS USING RESORCINOL AND MAMONA ADHESIVES

ABSTRACT: This report intention is to contribute to the study of wood-wood connections systems using only adhesive. The aim of the study was to evaluate the performance of structural joints in glued laminated timber subject to actions compatible to those present current porches. The structural joints, built in real scale, were made entirely bonded to *Eucalyptus sp* blades using two different adhesives. Three joints used resorcinol formaldehyde adhesive and two others used mamona adhesive. The structures were subjected to load testing on a universal testing machine. The joints were judged by strength and stiffness criteria. Regardless of the adhesive used, the joints showed an average ratio of breaking load of 3.86 the designed load. Additional stresses in compressed sides showed the occurrence of plasticizing of the joints made with wood of lower density. In the stressed sides, it was seen a pulled a linear behavior for loads near the breaking point. The failure modes do not characterize a failure of the glue laminated timber system proposed. Finally, it is recommended the use of glued connections in straight frames such as in small and medium-sized buildings which require bonding in angle between the wooden blades.

KEYWORDS: Structures, Eucalyptus, Adhesives.

INTRODUÇÃO

A madeira foi um dos primeiros materiais a serem utilizados pelo homem e continua sendo essencial na construção civil, atualmente, por apresentar boas propriedades mecânicas, estéticas, arquitetônicas, estas muito viáveis para o seu emprego como material de construção. No Brasil, a devastação indiscriminada de nossas matas tem gerado uma escassez de espécies nobres e provocado elevação de custos do material. Como alternativa, grandes florestas de madeira reflorestada foram plantadas, devendo-se adequar as novas tecnologias para seu uso. Dentre as novas técnicas que vêm sendo estudadas, tem-se a Madeira Laminada Colada ou MLC (Petrauski, 1999; Szücs & Chang, 1992).

A Madeira Laminada Colada pode ser definida como um material composto de pequenas peças de madeira, inferiores em tamanho ao lenho original, unidas por meio de adesivo, apresentando as fibras das lâminas paralelas ao comprimento da peça. O elemento estrutural pode ser curvo ou reto, com seção transversal variada, permitindo uma significativa variedade de formas, possibilidade de emprego para vencer grandes vãos e alta resistência a solicitações mecânicas em relação ao seu peso próprio. Essa versatilidade, que tornou a MLC um material consagrado no exterior, associada à compatibilidade com o aproveitamento de espécies aptas ao reflorestamento, fez com que a técnica recebesse, a partir da década de 80, atenção dos pesquisadores brasileiros. Dentre as contribuições de tais pesquisadores, algumas delas inéditas, destacam-se o estudo de sistemas de ligação inteiramente colados, com a colagem de lâminas a diferentes ângulos entre as fibras da madeira (De Paula, 1983; Carrasco, 1984; Petrauski, 1999; Couri Petrauski, 1999; Couri Petrauski, 2012).

Nesse contexto, pretendeu-se neste trabalho contribuir com o estudo de sistemas de ligações madeira-madeira usando exclusivamente adesivo. O principal objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho de juntas estruturais em MLC sujeitas a ações compatíveis com aquelas presentes em nós rígidos de pórticos de uso corrente.

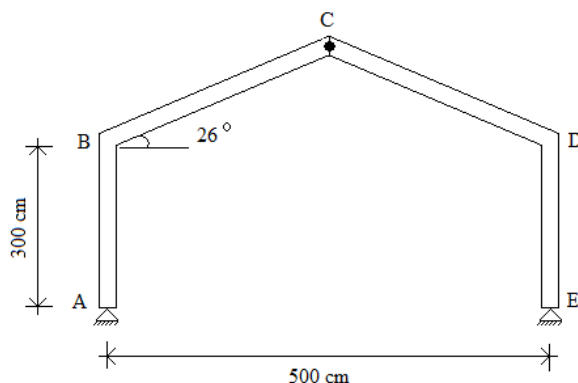
MATERIAIS E MÉTODOS

A parte experimental da pesquisa foi conduzida nos Laboratórios do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - CCET da Unioeste – Campus de Cascavel, especificamente no Laboratório de Tecnologia e Estruturas de Madeira – LATEM e no Laboratório de Estruturas e Materiais de Engenharia – LEME.

Obtenção das Juntas Estruturais

Foram projetados, construídos, em escala real, e submetidos a testes de carga, até ruptura, pórticos retos triarticulados, como mostra a Figura 1. Os pórticos foram confeccionados utilizando madeira de *Eucalyptus sp* e dois adesivos: poliuretano (à base de óleo de mamona) e resorcinol-formaldeído. Dois pórticos foram feitos com adesivo à base de óleo de mamona, e os demais com resorcinol formaldeído.

Figura 1 – Configuração geométrica da estrutura projetada



Após a ruptura optou-se por conduzir o ensaio das juntas estruturais da parte da estrutura que permaneceu íntegra após o teste de carga, objetivando avaliar a possibilidade de reaproveitamento dessa parte.

Teste das Juntas Estruturais

O ensaio individual das juntas foi realizado em Máquina Universal de Ensaio e conduzido até a ruptura de todas as unidades. Foram feitos os registros do nível de carga aplicado e das deformações apresentadas na face tracionada (A) e na face comprimida (B) das juntas como ilustra a Figura 2. Para acompanhamento das deformações foi instalado extensômetro eletrônico, com comprimento padrão de 100 mm, na lâmina central de cada uma das faces avaliadas.

A instrumentação usada também permitiu avaliar o deslocamento total da junta por meio da instalação de um relógio comparador.

Figura 2 - Esquema geral de ensaio das juntas com destaque para os posicionamentos do extensômetro, na face comprimida da junta, e do relógio comparador.



Nas condições de teste, a excentricidade da aplicação da carga em relação ao ponto central da ligação permitiu gerar o momento fletor nas juntas e os esforços normal e cortante. Tais esforços equivalem à decomposição da carga P nas respectivas direções, dado o ângulo de 32° entre a direção da carga e a direção das barras da junta. Assim sendo, a junta testada ficou sujeita aos seguintes esforços:

- Momento fletor $\square M = P \cdot e = P \cdot 18,75$ (kN.cm);
- Esforço normal $\square N = P \cdot \cos 32^\circ$ (kN); e
- Esforço cortante $\square Q = P \cdot \sin 32^\circ$ (kN).

O julgamento do desempenho das juntas foi feito com base nas relações entre as cargas e ações na ruptura das juntas e os respectivos valores de projeto. Foram avaliadas, também, as relações existentes entre as cargas e ações na ruptura das juntas e as cargas e ações na ruptura dos pórticos. Ainda, foram analisados os modos de ruptura das juntas e o comportamento das deformações apresentadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desempenho das Juntas Estruturais

Na Tabela 1 são apresentadas, para as condições de ensaio, a resistência última ($Pu_{\text{pórtico}}$) e os esforços solicitantes últimos nas regiões dos nós “B” e “D” (momento fletor - $Mu_{\text{pórtico}}$, esforço normal - $Nu_{\text{pórtico}}$ e esforço cortante - $Qu_{\text{pórtico}}$).

Tabela 1 – Resistência e esforços solicitantes para as condições de ensaio dos pórticos por Couri Petruski (2012).

Estruturas	Resistência e esforços			
	$Pu_{\text{pórtico}}$ (kN)	$Mu_{\text{pórtico}}$ (kN.m)	$Nu_{\text{pórtico}}$ (K)	$Qu_{\text{pórtico}}$ (kN)
R1	69,4	31,9	34,7	34,7
R2	83,18	38,2	41,6	41,6
R3	53,12	24,4	26,6	26,6
M2	68,42	31,4	34,2	34,2
M2	36,31	16,7	18,2	18,2

Na Tabela 2 são apresentadas, para as condições de ensaio das juntas, a resistência última (Pu_{junta}) e os esforços solicitantes últimos (momento fletor - Mu_{junta} , esforço normal - Nu_{junta} e esforço cortante - Qu_{junta}). A Tabela 3 apresenta o desempenho das juntas quanto à resistência.

Tabela 2 – Resistência e esforços solicitantes para as condições de ensaio das juntas

Estruturas	Densidade (g/cm ³)	Pu_{junta} (kN)	Mu_{junta} (kN.m)	Nu_{junta} (kN)	Qu_{junta} (kN)
R1	0,77	198,98	37,31	168,74	105,44
R2	0,74	181,42	34,02	153,86	96,14
R3	0,66	187,60	35,17	159,09	99,41
M2	0,80	174,36	32,69	147,87	92,40
M2	0,74	160,34	30,06	135,97	84,97

Tabela 3 – Desempenho das juntas testadas quanto à resistência apresentada

Estruturas	Md (kN.m)	$Mu_{p\acute{o}rtico}$ (kN.m)	Mu_{junta} (kN.m)	$Mu_{p\acute{o}rtico}/Md$ (kN.m)	Mu_{junta} / Md	$Mu_{junta} / Mu_{p\acute{o}rtico}$
R1	9,58	31,9	37,31	3,33	3,89	1,17
R2	9,58	38,2	34,02	3,99	3,55	0,89
R3	9,58	24,4	35,17	2,55	3,67	1,44
M2	7,67	31,4	32,69	4,09	4,26	1,04
M2	7,67	16,7	30,06	2,18	3,92	1,80

Rigidez apresentada

Todas as juntas foram submetidas a carregamento crescente até a ruptura. A junta R1 foi a primeira a ser testada. Por não haver referência da possibilidade de suporte de carga e forma de ruptura da peça, ao se perceber “estalos” na madeira, que poderiam indicar a proximidade da ruptura, optou-se pela retirada dos aparatos de leitura de deformações, o que ocorreu para a carga de 7500 Kgf. A carga de ruptura da junta foi de 20290 Kgf. Diante de tal valor, todas as demais unidades tiveram leituras de deformações até a carga aplicada de 15000 Kgf. O comportamento quanto à rigidez pôde ser avaliado pelos diagramas carga versus tensões atuantes estimadas através das leituras das deformações, tanto no bordo comprimido quanto no bordo tracionado. Tais gráficos são apresentados na Figura 3 abaixo. As fraturas nas peças, podem ser vistas na Figura 4.

Figura 3 – Diagrama carga x tensões atuantes, na esquerda para o bordo comprimido das juntas e na direita para o bordo tracionado.

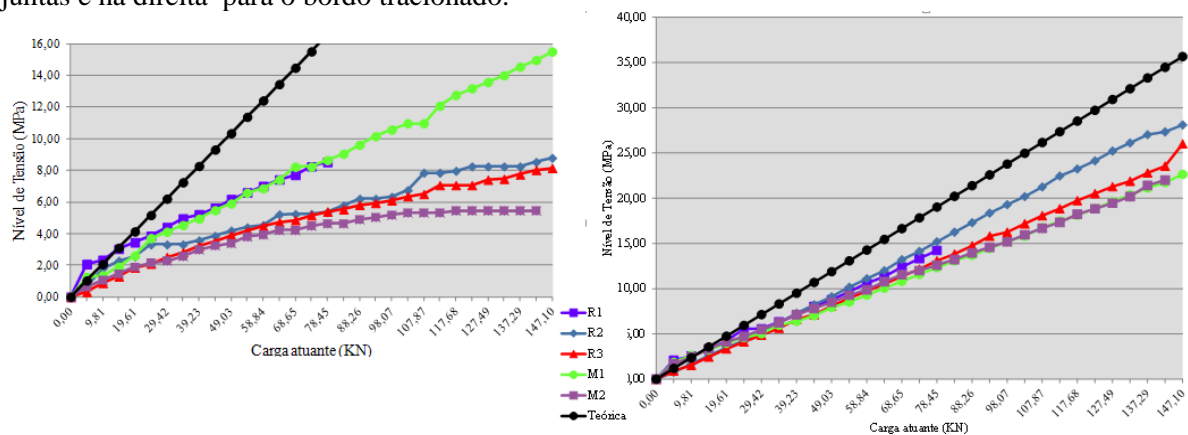


Figura 4– Fraturas nas peças testadas: falha por tração na primeira figura, falha por compressão (em vermelho) e por tração (em amarelo) na segunda e falha devido ao efeito do momento de torção na última figura.



CONCLUSÃO

As juntas avaliadas, independente do adesivo empregado, mostraram-se satisfatoriamente resistentes e com desempenho compatível com os níveis de segurança especificados pela normalização. O comportamento da distribuição de tensões, de compressão e tração, nas faces das juntas, obtido experimentalmente, foi inferior ao obtido por inferência teórica. Os modos de ruptura apresentados não caracterizaram uma falha do sistema de ligação colado proposto. Independente do adesivo utilizado, o desempenho estrutural das juntas propicia a recomendação de uso em pórticos retos em madeira laminada colada, aptos ao emprego em pequenas e médias edificações e que exijam colagem em ângulo, entre as lâminas de madeira. As juntas tendo sido confeccionadas e testadas até a ruptura da sua peça pareada em 2012, apresentaram, na maioria dos casos, maior resistência do que as peças testadas no experimento do pórtico. Entretanto, é importante ressaltar que as mesmas não ficaram sujeitas à ação de carregamento durante tal período.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG pelo financiamento de pesquisa do segundo autor.

REFERÊNCIAS

Carrasco, E. V. Ligações estruturais de madeira por adesivos. São Carlos: USP, 1984. 436p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas).

Couri Petruski, S.M.F. Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de madeira de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis* laminada e colada. Viçosa: UFV, 1999. 119p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

Couri Petruski, S.M.F. Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona. Viçosa: UFV, 2012. 129p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal).

De Paula, E. V. C. M. Ligação colada entre peças de madeira submetida a momento torçor na lâmina de cola. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 1, 1983, São Paulo. Anais... São Carlos: LAMEM-EESC-USP, 1983. v. 2, 33p.

Petruski, A. Comportamento de Ligações Adesivas e Avaliação Experimental de Tesouras de Telhados Feitas de Laminado Colado em Madeira de *Eucalyptus grandis* Viçosa: UFV, 1999. 128p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal).

Szücs, C. A.; Chang, T. C.. Possibilidades de fabricação de estruturas de madeira laminada, reforçadas com fibras de vidro de fios orientados. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 4, 1992, São Paulo. Anais ... São Carlos: LaMEM-EESC-USP, 1992. v.2, p.105-114.