ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA LAMINADA COLADA COM RESINA POLI-URETANA SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF WOOD STRUCTURAL PARTS GLULAM WITH POLY-URETAN RESIN UNDER AXIAL COMPRESSION

Adriano Seidi Demarchi Mikami¹; Larissa Queiroz Minillo²

¹ Discente da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP. ² Docente da Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE, Presidente Prudente, SP.
e-mail: adriano.mikami@yahoo.com.br; rrcaique@gmail.com;
larissaminillo@gmail.com;

RESUMO – É recorrente o interesse por substituir a madeira nativa por madeira de reflorestamento de crescimento rápido, visando maiores quantidades de material em menor tempo sem perdas em suas propriedades resistivas. Este trabalho consiste na comparação do comportamento de peças estruturais de madeira *in natura* com peças estruturais manufaturadas em MLC com resina poliuretana à base de mamona em relação à resistência à compressão. O processo de montagem dessas peças visa atingir uma resistência semelhante ou até superior às maciças, considerando que o método de MLC possibilita a construção de peças estruturais de diversas dimensões e formatos utilizando diferentes pedaços de madeira. Para tal, serão comparadas duas espécies de madeira, Pinus e Eucalipto. A resina poliuretana, fabricada pela empresa Imperveg, foi a utilizada na colagem das peças. Serão realizadas avaliações segundo a NBR7190 (1997) visando caracterizar as propriedades físicas e mecânicas das peças e os resultados obtidos serão submetidos à análise estatística pelo método Anova

Palavras-chave: Madeira estrutural, Compressão Axial, Resina poliuretana, MLC.

ABSTRACT – The interest in replacing native wood with fast growing reforestation wood is recurrent, aiming at larger quantities of material in less time with no losses in its resistive properties. This paper consists in comparing the behavior of *in natura* structural timber parts with glued laminated timber, made with polyurethane resin based on castor oil, with regard to the resistance to axial compression. The assembly process of these pieces aims to achieve a similar or even superior resistance to the solid ones, considering that the MLC method allows the construction of structural pieces of many sizes and formats using different pieces of wood. Two this end, two species of wood, Pinus and Eucalyptus will be compared. The polyurethane resin, manufactured by the company Imperveg, was used in the process of glueing the stacks together. Evaluations will be performed according to NBR7190 (1997) aiming to characterize the physical and mechanical properties of the pieces and the results obtained will be submitted to statistical analysis by the Anova method.

Keywords: Structural wood, Axial compression, Polyurethane resin; Glulam

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, assim como em vários outros recursos naturais, é um dos países mais ricos em reservas florestais nativas, sendo assim um forte fornecedor de madeira para a indústria e sendo esta, um recurso renovável, garante-se a possibilidade de seu uso em grandes quantidades sem altos riscos de seu esgotamento. Não obstante a essa condição, o uso da madeira na engenharia civil ainda é bastante restrito.

Atualmente, com a necessidade de materiais sustentáveis e o desenvolvimento de tecnologias para preservação de madeiras, seu uso vem novamente se tornando notável, com execução de vigas, pilares e lajes em forma de Madeira Laminada Colada (MLC), Madeira Laminada Cruzada (CLT) e Painéis de Tiras de Madeira Orientadas (OSB) (FERRO 2013).

Leva o nome de MLC (Madeira Laminada Colada), peças submetidas à uma técnica de laminação e colagem, que contém registros desde de antes de Cristo, de aplicações em diversos objetos, apesar de sua introdução à engenharia civil ter tido início no século XIX, mas sem atingir um grande potencial antes da aparição de adesivos duráveis durante a segunda guerra mundial.

Segundo Magalhães & Santos (2009) a classificação é feita de madeira visual, de tal forma que a eliminação dos defeitos e problemas na secagem sejam reduzidos. A aplicação da cola é feita de acordo com a composição do elemento e sua regularização acontece sob pressão de um gabarito. As placas são dispostas com as fibras paralelas entre si, e conforme o molde de prensagem, curvo ou reto, obtém-se vigas ou arcos. Também é possível a fabricação de peças de seção variável com espessuras que variam de 0,75 a 5 cm. Já na fase de acabamento, aplina-se lateralmente a peça, recorta-se as extremidades e executa-se furos e encaixes para as ligações, e depois a aplicação de um preservativo. Além de atingir grandes dimensões, a peça estrutural final pode apresentar boa rigidez e resistência, evidenciando o fator custo x benefício do processo. A qualidade é garantida devido a eliminação dos defeitos (nós e rachaduras), e no quesito estético, a performance é agradável, sendo desnecessário ocultar o esqueleto da estrutura como é o caso de outros materiais, além da resistência superior ao fogo.

Com a tendência mundial de uso de produtos biodegradáveis, não poluentes e vindos de fontes renováveis (diferente dos exemplos acima), muitos investimentos estão sendo feitos em pesquisas que possam gerar adesivos livres de formaldeído, porém com a mesma eficiência. Um exemplo de resultado é a resina poliuretana à base de mamona, criado no Instituto de Química de São Carlos – USP. A semente de mamona, *Ricinus communis*, pode ser extraída com facilidade em escala industrial, uma vez que a planta ocorre em todo território nacional e não apresenta dificuldades de cultivo.

O objetivo principal deste trabalho é verificar a soldabilidade da madeira quando esta é cortada perpendicularmente a fibra e colada.

3. MÉTODO

Segundo Gil (2002), a coleta de dados na pesquisa experimental é feita mediante a manipulação de determinadas condições e a observação dos efeitos obtidos, utilizando-se, normalmente, técnicas de análise estatística, que junto da fundamentação teórica, possibilitam a interpretação dos resultados.

A metodologia utilizada foi a investigação por meio de ensaios laboratoriais. Serão realizados ensaios de compressão axial paralelo às fibras em corpos laminados e colados, de acordo com o previsto na norma NBR 7190 (1997) utilizando a prensa mecânica disponível no Laboratório de Engenharia Civil da UNOESTE.

Figura 1. Dimensões do corpo de prova para ensaio de compressão paralela às fibras

Fonte: NBR 7190 (1997)

De acordo com Moreschi (2014), as dimensões do corpo de prova têm influência (mesmo que pequena) na resistência à compressão axial da madeira, quanto maior a

seção transversal da madeira menos ela poderá dilatar durante o ensaio, gerando uma resistência à compressão maior. Por outro lado, quanto mais comprido o corpo, maior a tendência à flexão, o que diminui a resistência aparente. Moreschi (2014) sugere que, a razão comprimento/aresta seja próximo de 4, uma relação considerada boa e recomendada. No Brasil, a NBR 7190 (1997) normaliza dimensões de 5 x 5 x 15 cm para o ensaio de compressão paralela à fibra.

Os grupos de corpos de prova serão divididos em grupo controle, formado por seis peças de madeira serrada maciça sem nenhuma benfeitora, e grupo MLC (Madeira Laminada Colada), composto de seis peças que foram cortadas de dois em dois centímetros na direção do comprimento e coladas com resina poliuretana à base de óleo de mamona.

Os corpos de prova de Madeira Laminada Colada foram serrados em pequenas pastilhas de 5x5x2cm.

Figura 2. Pastilhas serradas para preparação dos corpos de prova colados

Fonte: NBR 7190 (1997)

Com os corpos de prova numerados e com as dimensões devidamente padronizadas, pode-se preparar a resina para aplicação com a proporção de 1:1 (segundo o manual de instrução do fabricante). A mistura deve ser preparada antes da aplicação, devido ao seu rápido tempo de cura.

A Resina Poliuretana foi aplicada entre os cortes de 2cm. Com o auxílio do pincel, e a sua prensagem foi feita com aparelhos manuais, a morsa e o sargento e deixados em temperatura ambiente por 24 horas, o tempo necessário para a cura da resina poliuretana.

Figura 3. Corpos de prova colados após tempo de cura da resina PU mamona de 24h

Fonte: Autores

Os corpos de prova são então lixados afim de redimensiona-lo às medidas padrões de norma 5x5x15cm para o ensaio de compressão axial paralelo às fibras.

Figura 4 Corpos de prova colados após processo de lixamento das bordas.

Fonte: Autores

Segundo Miotto (2009) a melhor umidade para a colagem da madeira é aquela abaixo da umidade de equilíbrio (12%) e em condições que mantenham o teor de umidade da madeira abaixo de 22%. Em laboratório a temperatura média foi de 21° durante os ensaios e a umidade dos corpos de prova se manteve estável à 9%, obtida através de ensaio de umidade segundo a NBR 7190 (1997).

4. RESULTADOS

As tabelas 1 a 4 apresentam as tensões máximas de ruptura obtidas no ensaio de compressão axial e suas respectivas médias e desvio padrão.

Tabela 1. Tensão de ruptura do grupo Eucalipto Laminado Colado (MLCE)

CP	Tensão máxima de Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
MLCE1	61,35	66,21	5,48
MLCE2	74,27		
MLCE3	74,42		
MLCE4	55,20		
MLCE5	66,38		
MLCE6	65,62		

Fonte: Autores

Tabela 2. Tensão de ruptura do grupo Eucalipto-controle

CP	Tensão máxima de Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
EM1	44,06	45,3	1,2
EM2	46,82		
EM3	42,96		
EM4	46,01		
EM5	46,13		
EM6	45,84		

Fonte: Autores

Tabela 3. Tensão de ruptura do grupo Pinus Laminado Colado (MLCP)

CP	Tensão máxima de Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
MLCP1	38,35	37,03	1,14
MLCP2	34,89		
MLCP3	37,74		
MLCP4	35,74		
MLCP5	37,52		
MLCP6	37,95		

Fonte: Autores

Tabela 4. Tensão de ruptura do grupo Pinus-PU

CP	Tensão máxima de Ruptura (MPa)	Média	Desvio Padrão
PM1	21,22	22,48	0,97
PM2	20,83		
PM3	23,94		
PM4	23,72		
PM5	22,49		
PM6	22,69		

Fonte: Autores

5. DISCUSSÕES

Para análise dos resultados foi utilizada a análise ANOVA fator único. O teste compara grupos entre si, em busca de uma diferença significativa na relação geral dos objetos de estudo.

Tabela 5. ANOVA Eucalipto Maciço x MLC Eucalipto

F	Valor-P	F-crítico
45,4536	0,0000509	4,9646

Fonte: Autores

A análise ANOVA, o valor-p menor que o valor de alpha estipulado 0,05, mostra que há diferença significativa entre os grupos. A análise dos resultados de resistência a compressão dos corpos de prova do grupo controle comparados com o grupo PU mostra que há diferença significativa entre os grupos, ou seja, a cola entre as pastilhas de 2 cm de altura alteraram a resistência a compressão axial, aumentando-a, em média, 20,91MPa.

Tabela 6. ANOVA Pinus Maciço x MLC Pinus

F	Valor-P	F-crítico
361,441	0,0000000035	4,9646

Fonte: Autores

De madeira análoga, a análise anova entre os resultados do ensaio de ruptura à compressão axial paralela a fibra mostrou diferença significativa entre os corpos de prova do grupo controle em relação ao grupo PU, ou seja, a resina entre as pastilhas alterou a capacidade resistiva da peça, aumentando-a em média, 14,55MPa.

Estes resultados mostram que a resina entre as fatias de madeira gera o efeito de solda entre as camadas, e, assim como a solda no aço aumenta a resistência por redução dos comprimentos de flambagem local, enrijecendo-a. Na madeira ocorre o mesmo efeito, haja visto que a ruptura a compressão se dá por flambagem das fibras internas da madeira. Portanto, o corte em pastilhas interrompe o comprimento das fibras e enrijece a ligação entre elas.

5. CONCLUSÃO

Ao fim deste trabalho pode-se concluir que, o uso da prática do MLC com a resina poliuretana e óleo de mamona como catalisador,

apresentam resultados bastante satisfatórios no quesito resistência. As peças estruturais manufaturadas durante o estudo se manifestaram de forma eficaz quando submetidas à compressão axial, atingindo tensões admissíveis de até 50% maiores que as das peças maciças – no caso do Pinus, que compreende maior porosidade -. Esta ocorrência remete positivamente à hipótese de que a resina imitaria características químicas da lignina cumprindo bem o papel de adesivo estrutural, e também, de que o uso de pilares em MLC é mais do que recomendado.

O fato de que, durante o ensaio de ruptura axial, o rompimento da madeira acontecia individualmente em cada lâmina, e não nas ligações da cola, proporciona a ideia de segurança no material.

Apesar do custo mais elevado, a baixa popularidade, e a escassez de mão de obra de qualidade, os pilares em MLC, como este estudo sugere, garantem sua função e se mostram como fortes concorrentes dos pilares em concreto armado, e podem facilmente se popularizar assim como as vigas em MLC.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1998. 107 p.
- ALVIM, Ricardo. Concreto Armado - A estrutura interna do material. Disponível em: <<http://engenhariacivildauesc.blogspot.com.br/2012/05/concreto-armado-estrutura-interna-do.html>>. Acesso em: 16 maio 2018.
- BERTOLINI, Marília da Silva. Empregos de resíduos de Pinus sp tratado com preservante ccb na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base do óleo de mamona. 2011. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais)- USP - SÃO
- CARLOS, [S.I.], 2011. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/User/Downloads/Marilia Bertolini_final%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/User/Downloads/Marilia Bertolini_final%20(1).pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2018.
- CALIL, C. Notas de Aula – Estruturas de madeira. São Carlos 1998 107 p.
- FERRO, Fabiane Salles. Painéis OSB com madeira Schizolobium amazonicum e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção. 2013. 101 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais)- USP - SÃO CARLOS, [S.I.], 2013. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/User/Downloads/Fabiane Ferro%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/User/Downloads/Fabiane Ferro%20(1).pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2018.
- GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4ª. ed. [S.I.]: Atlas, 2002. 176 p.
- HELLMEISTER, J. C., Madeiras e suas características In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1. Anais..., v. características, p. 1-37. São Carlos, 1983.
- IWAKIRI, Setsuo. Painéis de madeira reconstituída. Ed. FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba, PR, p.123-166, 2005.
- JESUS, José Manuel Henrique. Estudo do adesivo poliuretano à base do óleo de mamona em madeira laminada colada (MLC). 2000. 125 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais)- USP - SÃO CARLOS, [S.I.], 2000. Disponível em: <[http://file:///C:/Users/User/Downloads/Marilia Bertolini_final%20\(1\).pdf](http://file:///C:/Users/User/Downloads/Marilia Bertolini_final%20(1).pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2018.
- LERROY MERLIN (https://www.leroymerlin.com.br/search?term=c aibro+de+pinus+5x5), acesso em 04/05/2018)
- MAGALHÃES, Luciana Nunes ; DUARTE LUSO DOS SANTOS, Paulo Roberto. A MADEIRA LAMINADA COLADA COMO MATERIAL ESTRUTURAL DE UMA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Construindo, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 25-27, jul. 2009
- MINILLO, Larissa Queiroz. Aproveitamento de resíduo das indústrias de celulose e sucoalcoleira para produção de painéis aglomerados. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. Área de conhecimento: Estruturas, 2017
- MIOTTO, JOSÉ LUIZ. Estruturas mistas de madeira-concreto: avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro. 2009. 357 p. Tese (Doutorado em Engenharia de

Estruturas)- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MORESCHI, João Carlos. Propriedades da Madeira. Curitiba: [s.n.], 2014. 208 p

NETO , Carlito Carlil. A madeira laminada colada. 124. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_a_materia.php?num=1473&subject=MLC&title=A%20madeira%20laminada%20colada>. Acesso em: 15 maio 2018.

PAES, Juarez Benigno et al. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. 21. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/534/53420071015/>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SILVA , José de Castro. Nós na Madeira . 59. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=17>. Acesso em: 25 abr. 2018.

SILVA , Rosana Vilarim. Compósito de resina poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras vegetais . 2003. 157 p. Tese (Mestrado em Engenharia dos Materiais)- USP - SÃO CARLOS , [S.l.], 2003. Disponível em: <<http://file:///C:/Users/User/Downloads/teseRosanaVilarimdaSilva.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2018.