



Estudo das propriedades mecânicas de vigas de madeira maciça armadas com barras de aço CA 50 fixadas com resina epoxilica

Mônica Ghellere (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) monicaghellere@hotmail.com, (2) marciovito@unesc.net

Resumo: Com o crescente uso da madeira no Brasil, pesquisas relacionadas à utilização de reforços estão sendo desenvolvidas com a finalidade de possibilitar estruturas com maior capacidade de suporte e menores dimensões. Com esse propósito, foi desenvolvido um sistema composto por vigas de madeira em *Eucalyptus Citriodora*, barras de aço CA 50 e resina epoxilica, onde foram divididos em três modelos com três amostras cada. O primeiro modelo é formado por vigas de referência, o segundo por vigas com barras de aço na parte inferior, e o terceiro com barras de aço na parte inferior e superior. O objetivo foi comparar o desempenho à flexão, analisando os diferentes grupos. Os resultados obtidos no estudo, através de ensaios de flexão em quatro pontos, comprovam o aumento antes da ruptura de 29,89% maior em relação à viga de referência, e 20,23% maior em relação às vigas reforçadas na área tracionada.

Palavras-chave: vigas de madeira; madeira armada; barra de aço; resina epoxilica.

Study of the mechanical properties of solid wood beams armed with CA 50 reinforcing bars and fixed with epoxy resin

Abstract: With the increasing use of wood in Brazil, research related to the use of reinforcements is being developed in order to enable structures with greater support capacity and smaller dimensions. For this purpose, a system consisting of wood beams in *Eucalyptus Citriodora*, CA 50 reinforcing bars and epoxy resin was developed, where they were divided into three models with three samples each. The first model consists of reference beams, the second with reinforcing bars at the bottom, and the third with reinforcing bars at the bottom and top. The objective was to compare flexion performance by analyzing the different groups. The results obtained in the study, through four-point bending tests, prove the increase before the rupture of 29.89% greater than the reference beam, and 20.23% greater than the reinforced beams in the tensioned area.

Key-word: wooden beams; reinforced wood; reinforcing bars; epoxy resin.

Introdução

Com o uso cada vez mais frequente da madeira na construção civil sendo esteticamente aceitável em muitos projetos arquitetônicos, e “podendo ser aplicado em diversas situações, quando comparado a outros materiais de construção convencionais utilizados atualmente, a madeira apresenta uma excelente relação resistência/peso (PFEIL, 2003).

A madeira possui elevada resistência mecânica à tração e compressão, bom isolamento térmico, elétrico e acústico (MORAES, 2012). Reforçando essa afirmação, Martins (2010) certifica que, com uma relação peso/resistência muito favorável, a madeira é um material capaz de transmitir tanto tensões de compressão como tração, e por consequência é um material naturalmente apropriado para elementos sujeitos a esforços de flexão.

De acordo com Pfeil, (2003), a limitação de deformações tem, em obras de madeira, importância relevante maior que em outros materiais, como aço e concreto armado. Isso porque se trata de um material com alta relação resistência/rigidez.

Quando solicitada a flexão simples, a ruptura em peças de madeira se dá pela formação de pequenas falhas na área comprimida e enrugamentos de compressão. Comprovando o que se diz, CALIL JUNIOR; LAHR; DIAS (2003), afirmam que, este fenômeno gera o aumento da área comprimida na seção e a redução da área tracionada, podendo, eventualmente, romper por tração.

Estudos que analisam reforçar estruturas de madeira, estão sendo aprimorados com a finalidade de suprimir a fragilidade do material. Como afirma BRASIL (2008, p.14), o reforço visa à melhoria do desempenho estrutural, possibilitando que a estrutura assumam novas exigências funcionais.

Buscando reforçar a estrutura, utilizou barras de aço por ser um elemento importante capaz de resolver de maneira satisfatória problemas relacionados ao reforço estrutural. Conforme Dias (2003), o aço em função de sua resistência, ductilidade e outras propriedades, é adequado para utilização em elementos que suportam cargas.

Proporcionando a união das barras de aço à estrutura, a resina epóxi desempenha essa função permitindo a ligação entre diferentes componentes, dentre outras aplicações. Gardner (1994), salienta que “[...] a resina epóxi é claramente o adesivo mais adequado para reforços ou colagens de elementos de aço em peças de madeira [...]”, e que, existindo diferentes tipos de

resina epóxi, “[...] os resultados obtidos para uma resina não pode ser extrapolada para predizer o comportamento de outra resina”.

Baseado nas informações e em protótipos de estudos realizados anteriormente, na mesma universidade, por Tiscoski (2014), Carradore (2016) e Bonfante (2016), desenvolve-se um sistema de reforço com barras de aço CA 50 na área tracionada e comprimida da peça, unidas com resina epoxilica. O conjunto tem como objetivo aumentar a resistência mecânica e absorção das deformações provocadas por solicitações de carga, obtendo menores seções, maior resistência e economia.

O que difere o estudo dos anteriores, é a utilização das chapas de aço no topo das vigas, investigando a utilização e eficácia desses elementos na estrutura quando submetida à aplicação de carga.

Materiais e Métodos

Foram desenvolvidas nove vigas em madeira maciça, divididas em três modelos, sendo cada um composto por três amostras. O que difere os modelos são a quantidade e posicionamento das barras de aço na estrutura. O protótipo criado para o desenvolvimento das peças é apresentado a seguir, na Figura 1, permitindo visualizar a disposição das barras de aço e as chapas de aço usadas nas vigas que receberam o reforço .



Figura 1. Protótipo das vigas em estudo.

O primeiro modelo é formado por vigas de referência sem nenhuma modificação. O segundo por vigas com vincos na parte inferior, onde ocorrem os esforços tração. O terceiro modelo possui vincos na parte inferior e superior da viga, onde ocorrem os esforços de tração e compressão, respectivamente. Os vincos serviram para a colocação das barras de aço e a resina epoxilica.

A NBR 7190/1997, especifica que a área mínima para uma viga de madeira sendo de 50 cm² e largura mínima de 5 cm. As medidas das peças foram de 10x10x150 cm com vincos de 1,40x1,40 cm, atendendo as exigências da norma. A Figura 2 demonstra as medidas das peças e posicionamento das barras de aço na estrutura.

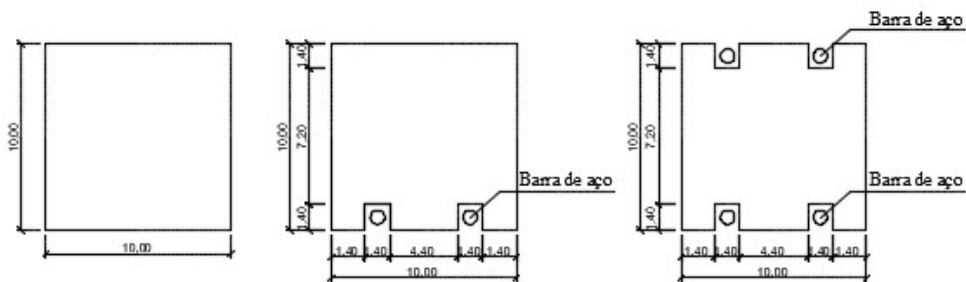


Figura 2. Desenho representativo das medidas das peças.

Cada modelo de viga em *Eucalyptus Citriodora* executado para o estudo é apresentado na Figura 3a e 3b facilitando a comparação com o projeto.

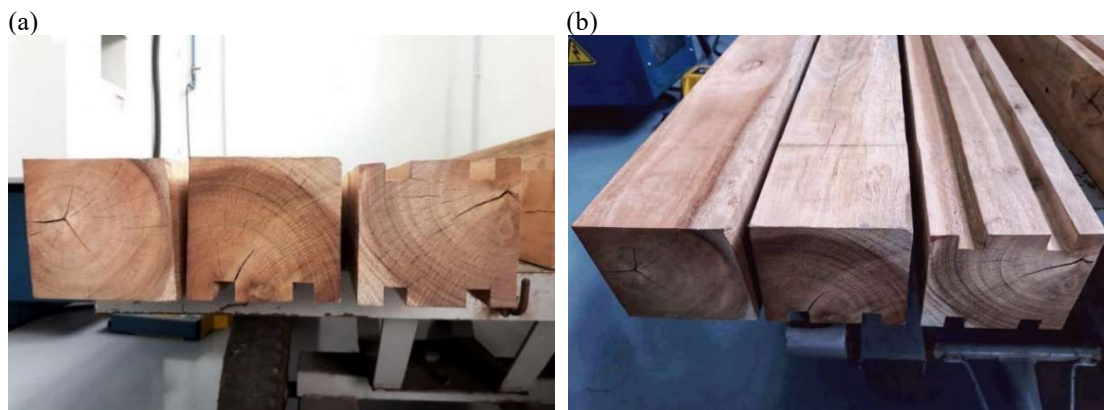


Figura 3.(a) e (b) modelos em *Eucalyptus Citriodora*

Buscando possibilitar a melhor representação dos grupos, as vigas de referência foram denominadas como VR, as que possuíam vincos na área tracionada, foram denominadas como V1 e as que possuíam vincos na área tracionada e comprimida, receberam a denominação de V2.

A caracterização do material é fundamental para o conhecimento de suas propriedades físicas, desta maneira, os ensaios de umidade e densidade da madeira foram realizados seguindo as especificações da NBR 7190/1997.

Por possibilitar fácil aderência entre a barra de aço e o elemento de contato (resina epoxilica), foram utilizadas barras de aço nervuradas. Com a facilidade do uso em obras de construção civil e fácil manuseio, optou pelo o uso de barras com diâmetro de 8 mm. O comprimento da barra de aço utilizada foi de 160 cm, sobressaindo 5 cm para cada lado, viabilizando a fixação e rosqueamento das porcas sextavadas.

Houve a necessidade que as barras de aço fossem roscadas em suas extremidades para a fixação das porcas sextavadas. O rosqueamento nas extremidades das barras de aço, foi executado manualmente com o auxílio de cossinete de aço (Figura 4a e 4b).

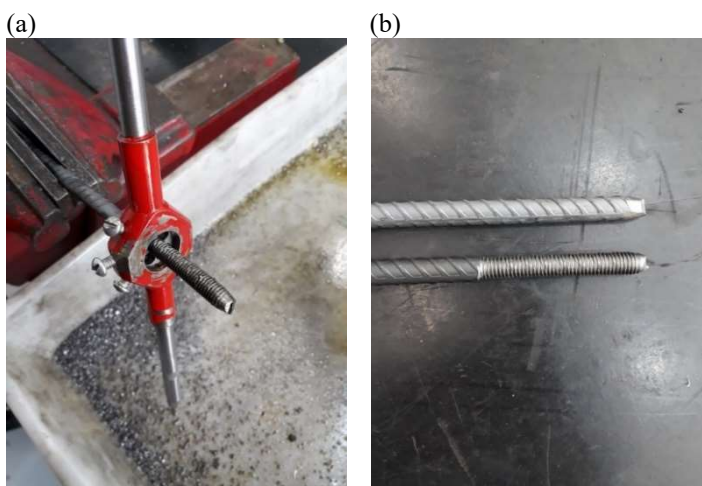


Figura 4. (a) rosqueamento com auxílio de cossinete de aço, (b) resultado final

Após o processo de usinagem, as barras de aço ficaram com resíduos do óleo utilizado para permitir o deslizamento do cossinete de aço. Em seguida, as barras de aço foram limpas com água e detergente líquido para que não ocorresse nenhuma interferência no estudo.

Para que a estrutura fosse rígida o suficiente, foram colocadas nas extremidades, chapas

de aço de seção 10x10 cm e ¼” de espessura. Com o objetivo de fixar as chapas à estrutura, utilizou porcas sextavas M6.

De maneira a permitir a distribuição uniforme dos esforços, parafusaram-se as chapas de aço nas vigas do grupo V1. Para o grupo de vigas V2, não houve a necessidade da utilização dos parafusos, devido ao conjunto fixar as chapas de aço juntamente com a porca sextavada, conforme mostrado na Figura 5.



Figura 5. Vigas V1 e V2 respectivamente

As barras de aço e as porcas sextavadas agiram em conjunto, formando um tirante que comprimiu a viga de madeira sem carregamento, atuando no acréscimo de rigidez e resistência quando solicitados os esforços de flexão. As chapas laterais distribuíram os esforços de compressão exercidos nas barras de aço. Para formar um elemento único, o adesivo estrutural bi componente à base de resina epoxílica uniu as barras de aço à madeira.

O adesivo estrutural utilizado foi à base de resina epóxi, isento de solventes, com alta viscosidade e com pega normal. Conforme propriedades e características do fabricante, o tempo de cura inicial da resina epoxílica é de 24 horas a partir de sua aplicação na estrutura. Sua resistência à compressão é de 40 MPa em 24 horas e 50 MPa em 7 dias. O tempo de manuseio é de 60 minutos após a mistura do endurecedor e da base.

Na preparação das vigas, os vincos foram devidamente limpos com escovão e ar comprimido para que não houvesse resíduos de material, o que poderia gerar interferência no estudo.

Após a limpeza dos vincos das peças as barras de aço foram adicionadas e a resina foi aplicada, como mostrado na Figura 6a e 6b.

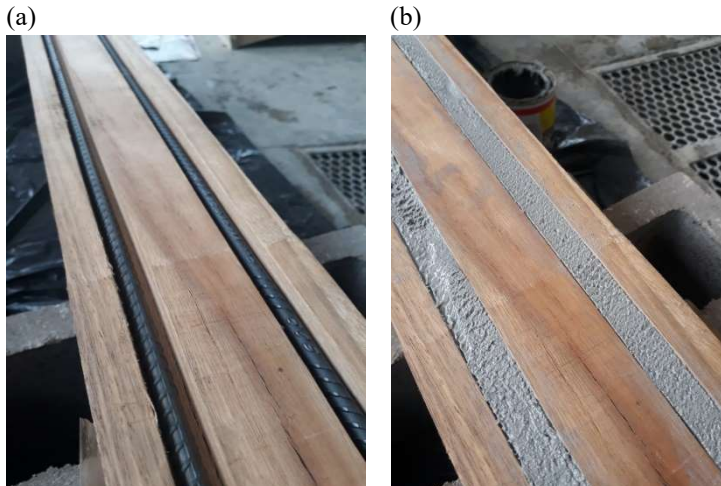


Figura 6. (a) vincos com barras de aço, (b) vincos preenchidos com resina epoxilica

Respeitando o tempo de secagem inicial da resina, que foi de 24 horas, conforme recomendações técnicas do fabricante, as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos, a fim de obter a resistência máxima e o deslocamento vertical. O ensaio foi realizado no I-Parque (Parque científico e tecnológico), pertencente à UNESC (Universidade do Extremo Sul Catarinense).

O equipamento do ensaio de flexão em quatro pontos, utiliza uma célula de carga com capacidade de leitura de 500 kN e simula apoios simples. Devido as limitações da estrutura de ensaio, não houve a possibilidade de engastamento nas extremidades das vigas. O sistema é ilustradamente representado na Figura 7.

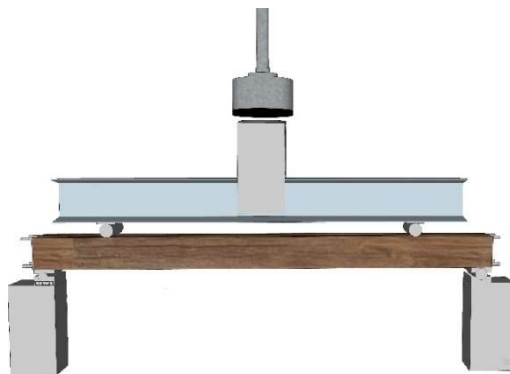


Figura 7. Modelo do ensaio de flexão em quatro pontos

Os deslocamentos lineares sofridos pela estrutura foram mensurados por sensores LVDT's (Transformador Diferencial Variável Linear), ligados ao sistema de aquisição de dados (HBM Quantum x MX840 8 canais), conforme mostra a Figura 8a e 8b.

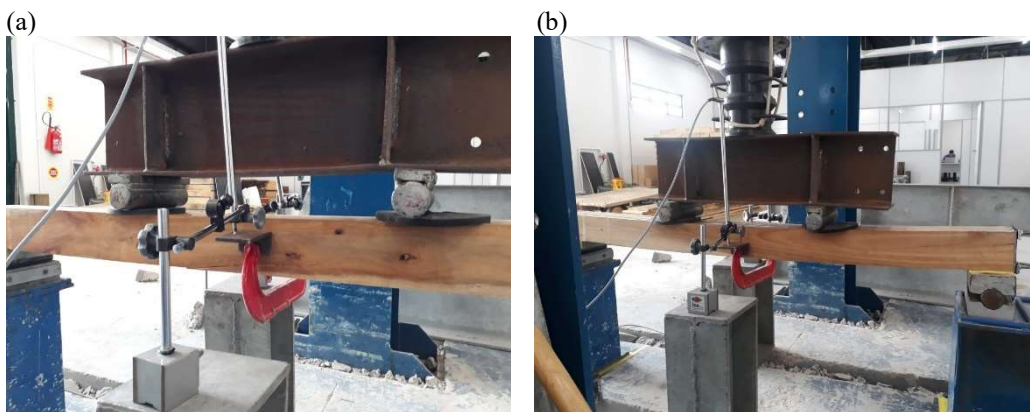


Figura 8. (a) e (b) mensuradores LVDT

Com a utilização do sistema de aquisição de dados, as máximas cargas e o deslocamento vertical de cada viga puderam ser percebidos instantaneamente ao longo do ensaio de flexão. Os dados obtidos durante o ensaio foram salvos e analisados posteriormente, possibilitando investigar o comportamento de cada viga individualmente e por agrupamento.

Resultados e discussões

A umidade tem a finalidade de ajustar as propriedades de resistência e rigidez da madeira em condições ambientais. O item 6.2.1 da norma, especifica o valor de 12% para a umidade ideal, que corresponde a classe 1. A umidade das peças de madeira em estudo foi de 17,61%, que se encontra na classe 3.

A Tabela 1 apresenta o resultado da densidade da madeira *Eucalyptus Citriodora*.

Tabela 1. Ensaio de densidade da madeira em estudo

	Densidade básica (kg/m ³)	Densidade aparente (kg/m ³)
<i>Eucalyptus Citriodora</i>	815,36	959,16

Após a realização do ensaio de flexão em quatro pontos, verificou-se visualmente os danos causados nas estruturas pela aplicação de carga. Foi possível notar que os grupos VR e V1 tiveram seu rompimento inicial na região comprimida da peça. Já o grupo V2 passou a romper por tração, o que se acredita ter aumentado a capacidade de ruptura para esta situação (Figura 9a e 9b).

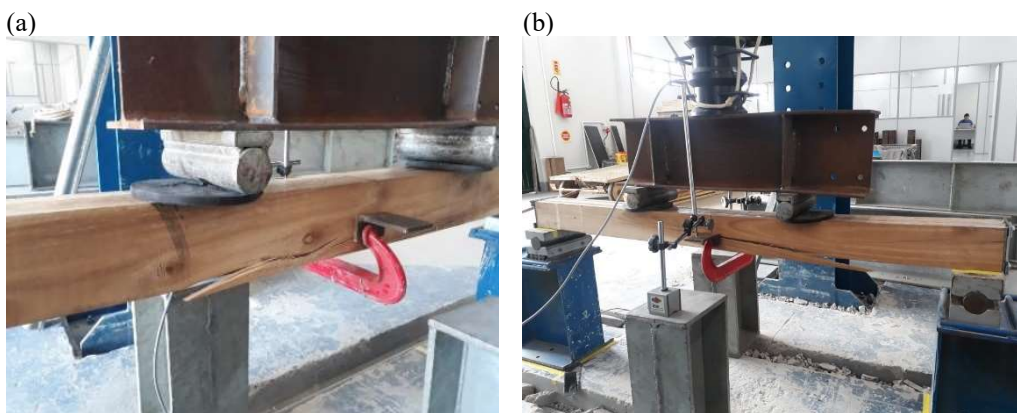


Figura 9. (a) e (b) ensaio de flexão em quatro pontos nas VR e V2

Por não se fazer uso de Strain Gauge, não se pode afirmar que as barras de aço foram solicitadas quando aplicadas às cargas nas peças. A resina por sua vez, pode ter auxiliado na absorção das cargas, fazendo com que as peças que possuíam vincos na parte superior, onde ocorrem os esforços de compressão, rompessem por tração, diferentemente dos outros grupos que não receberam o reforço na área comprimida. As Figuras 9a e 9b e 10a e 10b revelam esses efeitos.

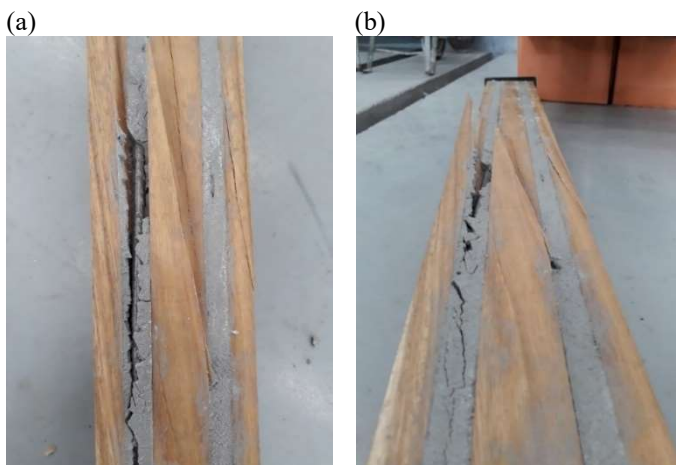


Figura 10. (a) e (b) desempenho entre resina e madeira e resina e barras de aço

O Strain Gauge é um sensor colocado na superfície de uma peça, possibilitando medir deformações quando há aplicação de cargas.

Em concordância com o que é exigido pela NBR 7190/1997, a resina atendeu as necessidades quanto ao desempenho juntamente com a madeira. Já o desempenho resina e aço não foram satisfatórios, fazendo os materiais se soltarem com a aplicação de carga.

Ao final do ensaio de todas as peças, os dados obtidos foram avaliados. Buscou observar as máximas cargas suportadas por cada viga e os deslocamentos verticais máximos sofridos após o carregamento.

As Tabelas 2, 3 e 4, apresentam os valores de cada viga ensaiada. A apresentação é dividida por agrupamentos, possibilitando a análise do desempenho de cada método desenvolvido.

Tabela 2. Ensaio de flexão realizado nas vigas de referência

Amostras	Carga máxima média (kN)	Deslocamento médio (mm)
VR - 1	61,89	35,53
VR - 2	57,95	31,38
VR - 3	63,99	27,11
Média	59,96	31,34

Tabela 3. Ensaio de flexão realizado nas vigas V1

Amostras	Carga máxima média (kN)	Deslocamento médio (mm)
V1 - 1	66,55	32,35
V1 - 2	66,02	30,55
V1 - 3	72,09	33,58
Média	68,22	32,16

Tabela 4. Ensaio de flexão realizado nas vigas V2

Amostras	Carga máxima média (kN)	Deslocamento médio (mm)
V2 - 1	79,33	25,11
V2 - 2	92,11	33,96
V2 - 3	85,12	35,48
Média	85,52	31,52

O gráfico (Figura 11) que relaciona carga x deslocamento, possibilita o observar o comportamento das estruturas dos diferentes grupos antes do rompimento.

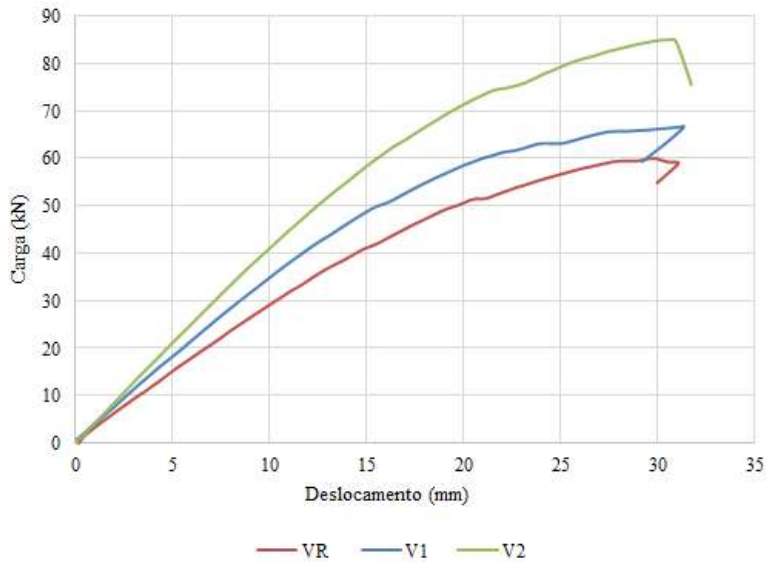


Figura 11. Gráfico Carga x Deslocamento dos grupos VR, V1 e V2

Buscando verificar a eficácia dos reforços desenvolvidos no estudo, pode-se analisar os resultados de cada agrupamento estatisticamente. Essa análise é essencial para confirmar se ocorreu diferença expressiva entre os grupos.

Através da análise de variância (ANOVA), observou variação entre os três grupos, o que também foi confirmado pelo teste Levene ($p = 0,493$).

Pelo teste F constatou-se que existem diferenças significativas entre as médias para as diferentes vigas ($p = 0,0016$). Para avaliar as diferenças entre as médias foi usado o teste Tukey, onde se constatou que as vigas com duas barras apresentaram média estatisticamente igual às vigas de referência ($p = 0,226$). Já as vigas com quatro barras de aço apresentaram média superior às vigas de referência ($p = 0,0015$) e também superior à viga com duas barras ($p = 0,0081$).

A Tabela 5 apresenta os resultados necessários na análise estatística. Para melhor entendimento, os grupos receberam letras, a fim de, diferenciarem as vigas que obtiveram relevância significativa entre si.

Tabela 5. Resultados das cargas máximas e análise estatística

Amostras	Carga máxima média (kN)	Desvio padrão
VR	59,96 ^a	3,07
V1	68,22 ^a	3,36
V2	85,52 ^b	6,40

Através das análises estatísticas, pode observar que as médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Conclusões

Com a realização dos ensaios e comprovações estatísticas, pode-se analisar que não há diferença significativa entre as vigas de referência e vigas com reforço na área tracionada. Já para as vigas que receberam os reforços onde os esforços de tração e compressão ocorrem, houve diferença quando comparada às vigas de referência e às vigas reforçadas somente na área tracionada. Dessa maneira se comprova a inviabilidade do uso de reforços apenas na área tracionada da peça, quando comparada à estrutura que não recebe esse reforço.

O aumento na capacidade de carga antes da ruptura na estrutura que recebeu reforço na área tracionada e comprimida foi de 29,89% maior em relação à viga de referência, e 20,23% maior em relação às vigas reforçadas na área tracionada. Desse modo, verificou-se que as vigas com reforço na área comprimida e tracionada, são mais eficazes que as demais.

Analisando os resultados obtidos, fica como sugestão para estudos futuros, a colocação de barras de aço separadamente na área comprimida e na área tracionada da peça, podendo dessa maneira, verificar diferentes comportamentos.

Não houve o engastamento das barras de aço no sistema de reforço. Aconselha-se fazer o engastamento, a fim de exigir maior participação do aço sem depender exclusivamente da resina.

A resina utilizada no estudo não foi favorável ao desempenho entre resina e barra de aço. Recomenda que utilize outra resina que possibilite aderência entre o aço, garantindo melhor desempenho da estrutura como um todo.

É notório que a falta do uso de Strain Gauge trouxe dúvidas sobre o desempenho das barras de aço nas solicitações de carga. O uso desse material é importante para tais afirmações.

Referências bibliográficas

- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TEÉCNICAS. **NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- BRASIL, Douglas Rodriguez. **Utilização de estruturas de aço na recuperação de estruturas de madeira**. 2008. 86p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro.
- BONFANTE, Bruno Kny. **Comparação do desempenho à flexão com apoios engastados entre vigas de madeira natural e vigas de madeira armada com barras de aço CA-50 e resina epoxilica**. 2016. 20 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.
- CALIL JUNIOR, Carlito. **SET 406 – Estruturas de madeira**. 1998. São Carlos.
- CALIL JR., C.; LAHR, F. A. R.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de elementos estruturais de madeira**. 1a edição, 2003.
- CARDOSO, Rafael De Bona. **Atenuar o deslocamento vertical em vigas de madeira utilizando cabo de aço**. 2013. 21 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma
- CARRADORE, Felipe. **Estudo das propriedades mecânicas de vigas de madeira maciça armadas com barras de aço CA-50 fixadas com resina epoxilica**. 2016. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma
- DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estrutura de Aço: conceito, técnicas e linguagem**. 6.ed. São Paulo: Zigurate, 2008. 41p.
- GARDNER, G. **Reinforced glued laminated timber system epoxy/steel timber composite material**. Pacific Timber Engineering Conference, 1994, p. 548-557.
- MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. **Dimensionamento de Estruturas de Madeira: Coberturas e Pavimento**. 2010. 01p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa – IST, Lisboa/PT.
- MORAES, Poliana dias de. **Aderência à Madeira de Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono sob Temperaturas Elevadas**. Floresta e Ambiente. Santa Catarina, 19 (2), 236-242, abr./jun. 2012.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro, LTC. 2003, 225p.
- TISCOSKI, Alexandra Longo. **Estudo das propriedades mecânicas de vigas de madeira maciça armadas com barras de aço CA-50 fixadas com resina epoxilica**. 2014. 17 f.



**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**



Artigo submetido como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.