

AVALIAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS DE CURAUÁ E SISAL PARA REFORÇO DE VIGAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA

EVALUATION OF NATURAL FIBERS OF CURAU AND SISAL FOR REINFORCEMENT OF GLUED LAMINATED TIMBER BEAMS

Bruno F. Donadon ⁽¹⁾, **Nilson T. Mascia** ⁽²⁾, **Renato S. Vitor** ⁽³⁾, **Leandro M. Trautwein** ⁽⁴⁾

(1) Msc, Estudante de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil

(2) Prof. Dr., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil.

(3) Eng., Estudante de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil

(4) Prof. Dr., Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, Brasil.

Endereço de contato: nilson@fec.unicamp.br

Código de identificação: T6-36

Resumo

Os atuais apelos ecológicos e interesses econômicos vêm direcionando as pesquisas de compósitos fibrosos com a utilização de fibras naturais, como as de Sisal e Curauá, entre outras. Essas fibras apresentam como vantagens no seu uso uma boa resistência à tração, um baixo custo e são provenientes uma fonte renovável de matéria prima entre outras vantagens. Dentro dessa área de pesquisa, esse trabalho apresenta um estudo experimental realizado para verificar o desempenho de vigas de madeira laminada colada com aplicação das fibras como reforço. As fibras são provenientes da planta *Ananás Erectifolius*, uma espécie nativa da Amazônia conhecida por Curauá, e da planta *Agave Sisalana Perrini*, nativa da península de Yucatan, México, e com produção importante na região nordeste do Brasil, conhecida como Sisal. Do estudo foi observado o ganho de rigidez obtido com a aplicação de um compósito de resina epóxi e fibras vegetais em vigas de madeira laminada colada. Os resultados obtidos indicaram um ganho de rigidez de 8% a 20% para as fibras de Curauá e de 8% a 13% para as fibras de Sisal.

Palavras chave: reforço; fibras naturais; Curauá; Sisal; vigas de madeira

Abstract

The current ecological appeals and economic interests have been directing the research of fibrous composites with the use of natural fibers, such as Sisal and Curauá, among others. These fibers have advantages in their use as a good tensile strength, a low cost and they come from a renewable source among other advantages. This work deals with an experimental study to verify the performance of Glued laminated timber beams with fiber reinforcement. The fibers are originate from the Ananás Erectifolius plant, a species native from Amazon known as Curauá, and the Agave Sisalana Perrini plant, native from Yucatan peninsula, Mexico, and with important production in the northeast region of Brazil known as Sisal. From this study, the stiffness gain obtained with the application of an epoxy resin composite and vegetal fibers on laminated wood beams was noted. The results indicated a stiffness gain of 8% to 20% for Curauá reinforcement and 8% to 13% for Sisal reinforcement.

Keywords: reinforce; natural fibers; Curauá; Sisal; timber beams

1. INTRODUÇÃO

A madeira, um dos materiais mais antigos utilizados, apresenta elevada resistência e flexibilidade lhe conferindo diversas formas de aplicação em diferenciadas situações construtivas.

Apesar de seu uso apresentar diversas vantagens a madeira exibe algumas limitações tais como as dimensões de peças comerciais. Para se superar tais limitações, diversos sistemas de composição de peças têm sido realizados para possibilitar o uso desse material em situações antes não possíveis. Um desses sistemas utilizado que consiste na união de peças de limitadas dimensões formando um elemento com dimensões e formatos variados, denominado de madeira laminada colada.

Mesmo com dimensões além das comercialmente existentes, diversos estudos vêm sendo realizados com o objetivo de se melhorar as propriedades mecânicas desse sistema. Uma das formas encontrada é associar ao sistema de madeira laminada colada polímeros reforçados com fibras, criando-se assim um elemento composto de madeira, resina e fibra que demonstre propriedades mecânicas superiores às existentes anteriormente.

Dentro desse contexto e inserido na nova ordem mundial por materiais e construção sustentáveis, nesse artigo busca-se avaliar a viabilidade da aplicação de fibras vegetais, na forma de compósitos, ao elemento de viga de madeira laminada colada, verificando-se qual contribuição essa aplicação induz na rigidez e na força de ruptura dessas vigas.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho mecânico de vigas de madeira laminada colada (MLC) reforçadas com fibras naturais de Curauá e Sisal, comparando-se os valores de rigidez e de força de ruptura em que vigas de madeira laminada colada apresentaram antes e após a aplicação de tais reforços de fibras.

Para tanto foram determinadas as propriedades mecânicas de rigidez e ruptura via ensaios de flexão não destrutivos, para classificar as vigas de madeira laminada colada (MLC), constituídas de madeira da espécie *Pinus Elliottii*.

Em seguida, foi aplicado reforço de fibra de Curauá e Sisal na região tracionada das vigas MLC e novamente as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão, nessa etapa até atingir a ruptura, para se determinar a propriedade de rigidez e força de ruptura das vigas reforçadas.

Por fim através do método da seção transformada avaliar e calcular a rigidez do compósito de fibra comparando os dados do ensaio de flexão com os disponíveis na literatura.

3. MATERIAIS COMPÓSITOS

Segundo a definição apresentada por vários autores, [1-3], um material compósito é um conjunto de dois ou mais materiais combinados em escala macroscópica, tendo uma distinta interface entre eles, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades mecânicas que nenhum dos componentes apresentava trabalhando de forma individual.

Mesmo com uma diversificada possibilidade de combinações entre diferentes materiais disponíveis para a formação de um compósito, [4] afirmam que os compósitos são basicamente formados por dois componentes, o componente matricial e o componente de reforço.

Segundo [5] a utilização de polímeros reforçados com fibras (PRF) permite aplicações tanto na concepção de uma estrutura bem como em uma intervenção de recuperação. Essa afirmação é reforçada em [6] que explica que a utilização dos PRF em estruturas ocorreu como uma forma de reabilitar estruturas para as novas solicitações impostas com o decorrer do tempo.

Segundo [7] a reabilitação de estruturas de madeira pode ser feita substituindo-se as peças comprometidas ou com a solidarização de elementos que complementem a capacidade mecânica do elemento reforçado. A técnica de reforço realizada por meio da adição de fibras, naturais ou

sintéticas, é uma alternativa que vem sendo pesquisada, como [8-11], devido a sua rápida aplicação sem ganho substancial de peso próprio e pelo baixo custo em relação à substituição das peças que nem sempre se tem material disponível.

Em virtude do bom comportamento mecânico que esses novos materiais têm apresentado e com o intuito de reduzir a variabilidade de propriedades devido à anisotropia da madeira, a aplicação de compósitos reforçados com fibras na construção civil tem aumentado rapidamente [12].

Observa-se que, em vigas de madeira o reforço é colocado no lado tracionado com o objetivo de se mudar de uma ruptura frágil de tração nas fibras para uma dúctil por compressão, [13-15].

3.1 Componente matricial

O componente matricial de um compósito é caracterizado por ser contínuo e por envolver o componente de reforço. Tem como principais funções a de transmissão das tensões entre os componentes de reforço, providenciar uma proteção mecânica contra danos físicos e químicos do meio e gerar aderência ao substrato [3,4,16].

Segundo [4] as matrizes poliméricas estão sendo cada vez mais utilizadas no ramo da construção civil especialmente quando aplicadas com reforço de fibras.

Dentre os adesivos estruturais os mais utilizados o mais utilizados é o adesivo epóxi [7, 17,18], pois seu desempenho, frente a outros adesivos, foi melhor como é apresentado em estudos [19-21].

3.2 Componente de reforço

O reforço tem a função de conferir resistência e rigidez ao compósito formado por partículas ou fibras [22]. Compósitos reforçados por fibras contínuas e unidirecionais tendem a ser mais resistente à tração se comparados com compósitos de manta, fibras picadas ou partículas [16].

A justificativa para o uso de fibra como reforço é dado em [8] ao afirmar que ambas as fibras, naturais e sintéticas, em vigas de madeira laminada colada produzidas com madeira de reflorestamento, está de acordo com os interesses econômicos e com o atual apelo ecológico.

A utilização das fibras vegetais se torna interessante por ser um material renovável e biodegradável, sendo um material construtivo menos agressivo ao meio ambiente, e por apresentar um baixo custo se comparados com fibras de carbono amplamente utilizadas para reforço. [23-24].

Conhecida cientificamente como *Ananás Erectifolius* [22], o Curauá é uma planta nativa da Amazônia que já era utilizada pelos índios da região para a fabricação de rede desde o período pré-colombiano [25]. Suas fibras são obtidas a partir do desfibramento das folhas da planta, sendo que cada planta produz anualmente de 20 a 24 folhas o equivalente a 2 kg de fibras [22].

A fibra de Sisal pertence à espécie *Agave Sisalana Perrini* planta nativa da península de Yucatán [8]. Sua produção se concentra no nordeste brasileiro onde as plantas produzem de 200 a 250 folhas por ciclo (8 a 10 anos), o que leve a uma produção de 26 kg a 33 kg de fibra por ciclo [26].

As propriedades mecânicas dos materiais fibrosos e sua aplicação vêm sendo estudadas por diversos autores como [11, 16, 27], entre outros. Algumas propriedades desses materiais, tais como resistência e módulo de elasticidade à tração, estão disponíveis na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades mecânicas de fibras vegetais encontradas na bibliografia pesquisada

Tipo de Fibra	f_t (MPa)	E_t (GPa)
Curauá Roxo	665-1300	20-33
Curauá Branco	859-1404	20-36
Juta	393-773	26,5
Sisal	511-635	9,4-22
Coco	131-175	4-13

Fonte: [14,25]

4. MÉTODOS

Para a realização dessa pesquisa foram necessárias avaliações teóricas, utilizando do método da seção transformada, e da execução de ensaios de flexão em vigas reforçadas com fibras. Sendo que na parte experimental foram utilizadas fibras de Sisal e Curauá.

Na parte experimental foram utilizadas cinco vigas de madeira laminada colada confeccionadas com 8 camadas de 22,5 mm de espessura em *Pinus Elliottii* (densidade $\rho_{ap}=560 \text{ kg/m}^3$, resistência a compressão $f_{c0}=40,4 \text{ MPa}$, módulo de elasticidade $E_{c0}= 11889$, [28]). As vigas foram utilizadas em sistema biapoiado com força concentrada no meio do vão. O vão livre entre apoios foi de 2800mm.



Figura 1: Detalhamento seção transversal das vigas de MLC apresentando suas dimensões em mm.



Figura 2: Viga de Madeira laminada colada posicionada para ensaio no laboratório de estruturas da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP.

Para a aplicação do reforço de Curauá optou-se por testar ter formas, sendo elas a aplicação direta das fibras com resina, produção e aplicação de uma manta e produção e aplicação de cordões. A aplicação direta utilizou 75g de fibra espalhas sobre a superfície da viga. A aplicação de manta foi utilizada 75g de fibra para tecer uma manta que foi aplicada na superfície da viga. Para a produção dos cordões foi necessário utilizar 150g de fibras, eles foram unidos com resina e a placa criada com os cordões que foi aplicada sobre a superfície da viga.



Figura 3: Detalhe das vigas de madeira laminada colada reforçada com (a) fibras de Curauá (b) manta de fibras de Curauá (c) cordões de fibras Curauá.

As fibras de Sisal utilizadas nessa pesquisa estavam em forma de manta trançada com gramatura de 1393 g/m². Para a aplicação na viga foram cortadas faixas da manta com comprimento de 150 cm (largura do rolo da manta) e com largura de 53 mm (largura a viga). Sua aplicação sobre a viga teve início com uma camada de resina epóxi na superfície da viga na qual foram aplicadas as faixas recortadas e outra camada de resina sobre as faixas de fibras de Sisal.



Figura 4: Detalhe das fibras de Sisal utilizadas no ensaio. (a) manta de Sisal trançado. (b) manta de Sisal aplicado à viga com resina epóxi.

Para avaliar o desempenho do reforço aplicado levou-se em consideração a configuração geométrica das vigas utilizadas nos ensaios bem como a altura e gramatura do reforço utilizado. A relação das configurações das vigas reforçadas está descrita na Tabela 2 apresentada a seguir.

Tabela 2: Dados das fibras e das configurações das vigas utilizadas nos ensaios de flexão.

Material	Reforço aplicado	camadas	gramatura	Altura reforço	Altura viga	Taxa de Reforço
		un	g/m ²	mm	mm	%
Sisal	Manta	2	1393	8	180	4,44
Sisal	Manta	2	1393	8	180	4,44
Curauá	Fibra	1	505	9	180	5,00
Curauá	Manta	1	505	3	180	1,67
Curauá	Cordões	2	505	20	180	11,11

A avaliação da rigidez (EI) das vigas de MLC, com e sem reforço, foi realizada através da formulação utilizada na norma ABNT NBR (1997) no anexo B como indicado na Eq. 1.

$$EI = \frac{\Delta P \cdot L^3}{48 \cdot \Delta \delta} \quad (1)$$

Sendo “EI” a rigidez da viga; “ΔP” é o intervalo de carregamento aplicado considerado; “L” é o comprimento do vão entre apoios; “Δδ” é o intervalo de deslocamento vertical medido considerado;

Para o cálculo da elasticidade do compósito, os dados de rigidez obtidos foram analisados através do método da seção transformada. No cálculo a viga foi considerada maciça de madeira sendo na região do compósito de fibra considerado uma largura equivalente através do fator de transformação ($n = E_2/E_1$).

Fazendo-se uso da formulação para o cálculo da linha neutra e do momento de inércia, Eq. 2) e 3), é possível determinar o fator de transformação n e, com isso, calcular o módulo de elasticidade do compósito.

$$y_{cg} = \frac{b \cdot h_m \cdot \frac{h_m}{2} + n \cdot b \cdot h_f \cdot \left(h_m + \frac{h_f}{2} \right)}{b \cdot h_m + n \cdot b \cdot h_f} \quad (2)$$

$$I_t = \frac{b.h_m^3}{12} + b.h_m \cdot \left(\frac{h_m}{2} - y_{cg} \right)^2 + \frac{b.h_f^3}{12} + n.b.h_f \cdot \left(h_m + \frac{h_f}{2} - y_{cg} \right)^2 \quad (3)$$

y_{cg} é a posição vertical do centro de gravidade do elemento; I_t é o momento de inércia da viga em relação ao seu centro de gravidade; b é a largura do elemento; h_m é a altura da viga em madeira; h_f é a altura da camada de fibra aplicada; n é o número de camadas de fibra aplicado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta a análise de resultados dos dados experimentais das vigas com e sem reforço de fibras vegetais. Essa análise foi dividida em três subitens: análise da rigidez, forças de ruptura e tensões normais nas vigas.

5.1 Análise da rigidez das vigas

Nas Figuras abaixo são apresentados as curvas de carregamento e deslocamento vertical dos ensaios de flexão realizados.

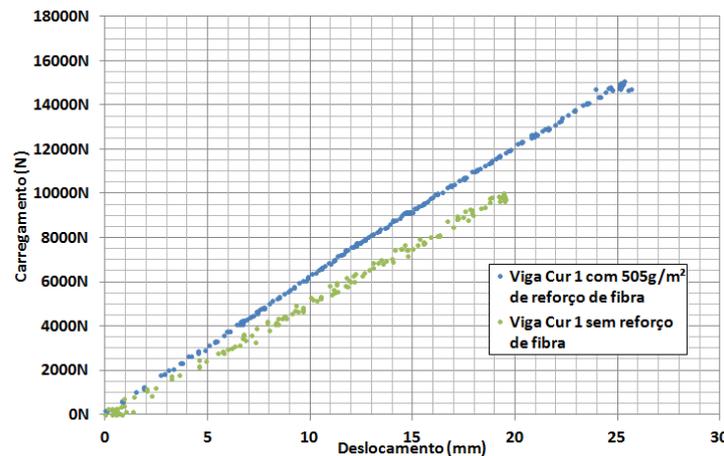


Figura 5: Curvas de correlação entre carregamento e deslocamento vertical no meio do vão, 2800 mm entre apoios, em ensaio de flexão de viga Cur 1 de MLC com e sem reforço de manta de Curauá com gramatura total 505.g/m².

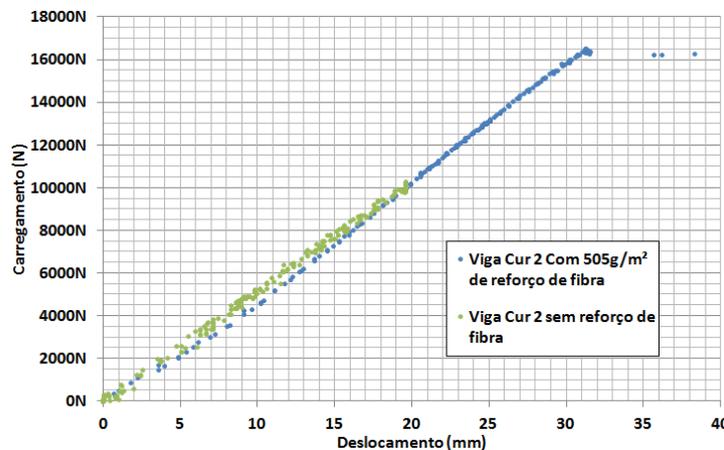


Figura 6: Curvas de carregamento e deslocamento vertical no vão central no ensaio de flexão de viga Cur 2 com reforço de fibras de Curauá com gramatura total 505.g/m² e sem reforço .

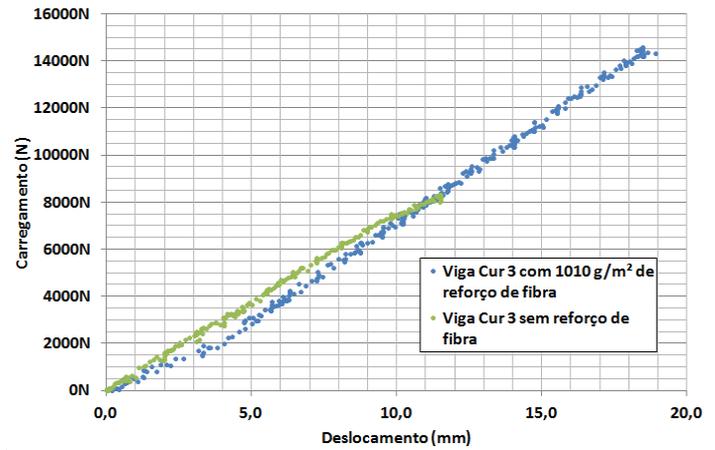


Figura 7: Curvas de carregamento e deslocamento vertical no vão central no ensaio de flexão de viga Cur 3 com reforço de cordões de Curauá com gramatura total 1011g/m² e sem reforço.

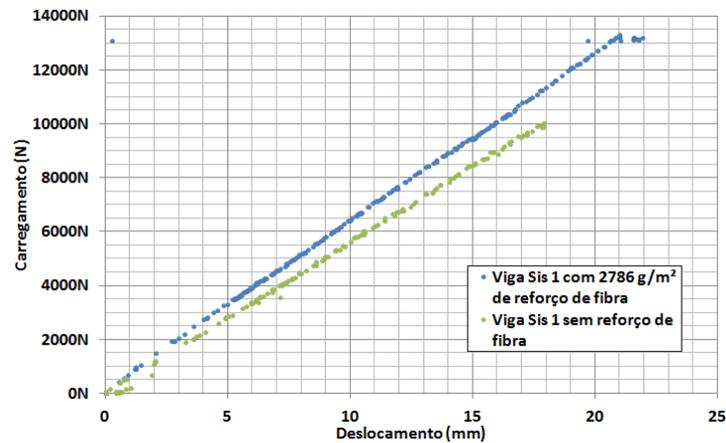


Figura 8: Curvas de carregamento contra deslocamento vertical no vão central no ensaio de flexão de viga Sis 1 com reforço de manta de Sisal com gramatura total 2786g/m² e sem reforço.

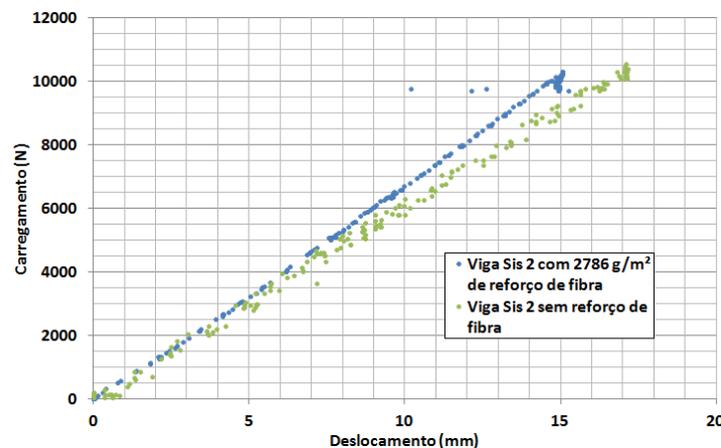


Figura 9: Curvas de carregamento contra deslocamento vertical no vão central no ensaio de flexão de viga Sis 2 com reforço de manta de Sisal com gramatura total 2786g/m² e sem reforço.

Como pode se observar nas Figuras 8 a 12, em todos os casos houve um aumento na rigidez levando a uma redução nos deslocamentos verticais após a aplicação das fibras. Importante notar

que essa melhora se torna mais visível nos casos em que o compósito fibroso utilizado era formado por manta, o que é compreendido quando [16] afirmam que o compósito reforçado com fibras continua e unidirecional tende a ser mais resistente a tração se comparados com compósitos de manta, fibras picadas ou partículas.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de rigidez das vigas, calculados com a Eq. 3, antes e depois da aplicação do reforço. Também estão disponíveis na tabela as taxas de rendimento apresentando o ganho de rigidez que ocorreu em cada caso de reforço.

Tabela 3: Dados de rigidez dos ensaios de flexão das vigas de madeira com e sem reforço aplicado.

Nome amostra	Tipo Reforço Aplicado	taxa Reforço %	gramatura do reforço g/m ²	EI Inicial N.mm ²	EI Final N.mm ²	Taxa Rendimento %
Sis 1	Sisal	4,4	2786	2,6068E+11	2,8355E+11	9
Sis 2	Sisal	4,4	2786	2,7897E+11	3,2242E+11	16
Cur 1	Curauá	5,0	505	2,3324E+11	2,7897E+11	20
Cur 2	Curauá	1,7	505	2,4239E+11	2,6220E+11	8
Cur 3	Curauá	11,1	1010	3,5755E+11	3,8774E+11	8

Como é apresentado na Tabela 3, o reforço com compósitos de fibras nas vigas de madeira laminada colada aumentam a rigidez dos elementos como previsto por [11,29] entre outros autores.

Fazendo uso do método da seção transformada, Equações 2 e 3 e os dados de rigidez dos ensaios foi calculado a elasticidade do compósito (fibra mais resina) como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Dados do modulo de elasticidade do compósito nos ensaio de flexão da viga reforçada.

Material	Reforço aplicado	Módulo compósito (MPa)
Sisal	Manta	5623
Sisal	Manta	10160
Curauá	Fibra	5902
Curauá	Manta	36667
Curauá	Cordões	4146

Apesar do aumento na rigidez global dos elementos os valores de elasticidade apresentados na Tab.Tabela 4 foram inferiores aos valores atingidos por [30], indicando que a forma como é aplicado o compósito ao substrato (viga) não garantiu uma completa transferência de tensões entre elementos.

5.2 Análise de forças de ruptura

Analisando-se os dados das forças de ruptura atingida pelas vigas (Tabela 5), é possível notar que as aplicações do reforço de fibras de Curauá e de Sisal proporcionaram um aumento na força de ruptura quando comparados com as vigas tomadas como referência.

A aplicação das fibras como reforço em vigas de madeira laminada colada gerou uma redução da variabilidade das forças de ruptura, fenômeno notado quando comparados os valores de desvio padrão das vigas reforçadas com os aferidos para as vigas de referência sem reforço, como observado na Tabela 5, o que indica que aplicação das fibras como reforço é válida para a redução da variabilidade e padronização dos valores de ruptura, permitindo assim um melhor aproveitamento das propriedades.

Tabela 5: Dados avaliados das forças de ruptura atingidas pelas vigas reforçadas e referência.

Tipo Reforço Aplicado	taxa Reforço %	Força Ruptura [N]	Ganho Resistência %	Coefficiente De Variação(**)
Referencia	0,0	22500*	0%	34,57%
Sisal	4,4	28680	22%	8,74%
Sisal	4,4	25340	11%	
Curauá	5,0	25014	10%	10,62%
Curauá	1,7	23427	4%	
Curauá	11,1	28747	22%	

(*) Valor médio das forças de ruptura obtidas nos ensaios com as vigas de referência. (**) Valor obtido com a relação da média das forças de ruptura com o desvio padrão.

Também é observado na Tabela 5 que os valores de forças de ruptura médios das vigas reforçadas foram superiores ao valor médio das vigas de referência, comprovando a validade da aplicação de reforço com o intuito de se aumentar a resistência do elemento reforçado.

5.3 Análise de tensões normais

A análise de tensões atuantes na seção transversal da viga reforçada demonstra que as tensões de tração presentes nas fibras são superiores as tensões de tração exercidas na madeira (ver figuras 13 e 14). Efeito esse que conduz ao aumento de tensões de compressão devido ao abaixamento da linha neutra como previsto na literatura [20,27].

Em consequência desse acréscimo de tensões de compressão atuante na viga de madeira, o modo de ruptura ocorridos nas vigas também é alterado, efeito esse comentado posteriormente no item 5.4.

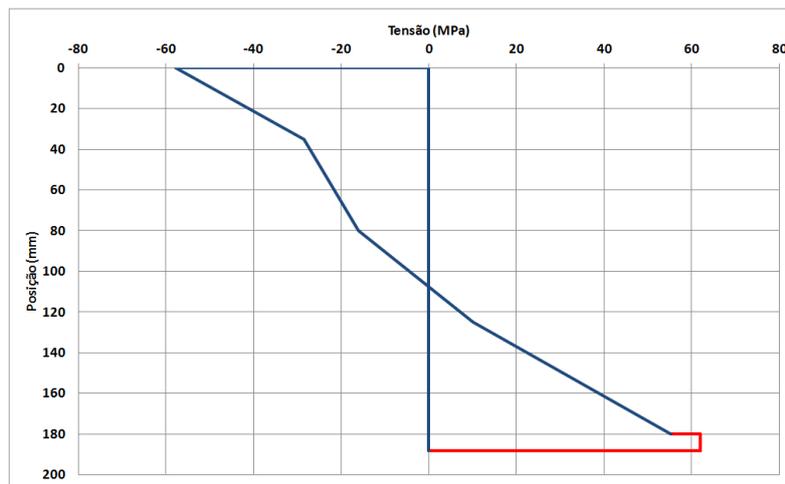


Figura 10: Viga 5 de madeira laminada colada reforçada com 2786g/m² de fibras Sis 2. (a) deformações ao longo da seção transversal. (b) distribuição de tensões na seção calculadas a partir da lei de Hooke e deformações.

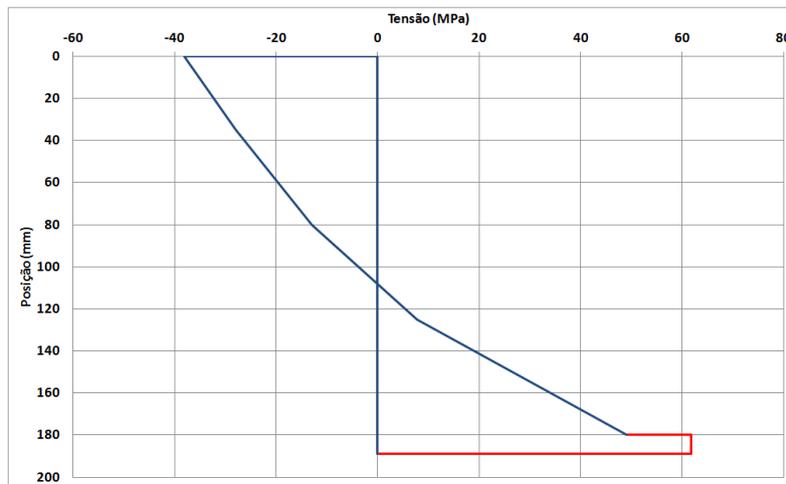


Figura 11: Viga 4 de madeira laminada colada reforçada com 505g/m² de fibras Cur 1 (a) deformações ao longo da seção transversal. (b) distribuição de tensões na seção calculadas a partir da lei de Hooke e deformações.

5.4 Modos de rupturas verificados

O modo de ruptura observado nas vigas de MLC reforçadas ocorreu inicialmente com o esmagamento da madeira na região comprimida da seção (Figura 18 e 19), resultando num abaixamento da linha neutra e, conseqüentemente, posteriormente uma ruptura brusca por tração e cisalhamento, fenômeno este também observado por [27,31]. Como consequência desse modo de ruptura, que diferente do modo brusco que ocorre em vigas sem reforço, são observadas grandes deformações antes da ruptura final da viga, permitindo uma reserva adicional de segurança como concluído por [31].



Figura 12: Detalhe da ruptura ocorrida na viga reforçada com fibras de Sisal.



Figura 13: Detalha da ruptura por compressão da viga reforçada com Curauá.

6 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a utilização das fibras naturais de Curauá e de Sisal como reforço estrutural se mostrou por se utilizar recursos naturais renováveis e que aumentam a rigidez da viga.

A eficiência mecânica da fibra vegetal de Curauá em relação às fibras de Sisal foi maior, pois com uma menor gramatura de reforço conseguiu-se atingir ganhos de rigidez equivalentes, porém sua aplicabilidade é baixa devido ao difícil manuseio que a fibra proporciona.

As fibras de Curauá apresentaram uma melhoria de rigidez de 8% até 20% na rigidez da viga e um aumento na força de ruptura da viga de 4 a 22% em comparação ao valor médio de ruptura das vigas de referência. Isto indica a aplicação como reforço estrutural é válido para os casos em que propriedades mecânicas da madeira a ser reforçada se aproximam das propriedades da madeira de *Pinus Elliottii*.

A aplicação das fibras de Sisal como reforço estrutural apresentou uma melhoria de rigidez de 9% até 16% da rigidez inicial da viga e um aumento na força de ruptura de 11% a 22%, em relação ao valor médio das vigas de referência. Da mesma maneira que as fibras de Curauá a aplicação das fibras de Sisal como reforço estrutural é válida para os casos em que a peça reforçada apresenta propriedades mecânicas similares aos de *Pinus Elliottii*.

Recomendam-se estudos utilizando-se essas fibras nas formas de manta e cordão entre peças do laminado de madeira, pois essas formas apresentaram bons desempenhos e essa forma iria garantir uma superfície mais homogênea do compósito devido à prensagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro. Agradecem a Universidade de Campinas (UNICAMP) e a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo pelo apoio de sua estrutura laboratorial.

REFERÊNCIAS

- [1] AGARWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J. Analysis and performance of fiber composites. EUA: John Wiley & Sons, Inc, 1990, E. 2, 449 p.
- [2] MENDONÇA, P. T. R. Materiais compostos e estruturas sanduíche: Projeto e análise. Barueri: Manole, 2005. 632p.
- [3] GIBSON, R. F. Principles of composite Material mechanics. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011, e.3, 683p.
- [4] SILVA FILHO, L. C. P.; GARCEZ, M. R. Compósitos de engenharia de matriz polimérica. In: Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. São Paulo: IBRACON, 2007, v.2, p. 1423-1464.
- [5] CUNHA, J.; SOUZA JUNIOR, D. A. Avaliação estrutural de peças de madeira reforçadas por fibras de carbono. Engenharia Civil UM (Braga), 2004, n.20, p. 71-81.
- [6] PHARES, B. M. Evaluation of a timber bridge for the secondary road system using FRP-reinforced glulam girders. Forest Product Laboratory: Demonstration in progress. 2010. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/specific_pub.php?posting_id=17955&header_id=p>. Acesso em: fev. 2014.
- [7] MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. Reforço e recuperação de estruturas de madeira. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, n. 2, p. 163-174, 2007.
- [8] MASCIA, N. T. FURLANI, J.E. VANALLI, L. Mechanical analysis of Sisal fibers to use as a reinforced material in wood beams. Journal of Civil Engineering and Architecture, V. 4, N. 12, p.61-67, 2010.
- [9] Mascia, N. T. Mayer, R. M. Analysis of Wood Laminated Beams Reinforced by Natural Fibres. Advanced Materials Research, V. 778, p. 553-560, 2013.

- [10] Mascia, N. T., et al. Analysis of Wood Laminated Beams Reinforced with Sisal Fibres. *Key Engineering Materials*, V.600, p.97-104, 2014.
- [11] BERTOLINE, C. A. A., MASCIA, N.T. BASAGLIA, C.D. DONADON, B.F.. Analysis of fiber reinforced laminated timber beams. *Key Engineering Materials*, V. 668, P. 100-109, 2016.
- [12] Rubini, L. Moraes, P. D. Aderência à madeira de polímeros reforçados com fibras de carbono sob temperatura elevadas. *Floresta e Ambiente*, v.19, e.2, p.236-242, 2012.
- [13] Romani, M. Blaß, H. J. Design model for FRP reinforced glulam beams. *Proceedings of the CIB-W18, Meeting 34, Venice, Italy. 2001, 10p.*
- [14] BALSEIRO, A. M. R. Reforço e reabilitação de vigas de madeira por pré-esforço com laminados FRP. *Dissertação (mestrado). Reabilitação do patrimônio edificado. Faculdade de engenharia da universidade do Porto. Porto - PT, 2007, 144p.*
- [15] Raftery, G. M. Rodd, P. D. REP reinforcement of low-grade timber bonded with Wood adhesive. *Construction and building materials*. v.91, p.116-125, 2015.
- [16] LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. *Compósitos estruturais: Ciência e tecnologia*. São Paulo: Edgar Blücher, 2006. 313 p.
- [17] Davis, G. The performance of adhesive systems for structural timber. *Journal Adhesion and adhesives*. *Journal of adhesion and adhesives*, V. 17, N. 3, P. 247-255, 1997.
- [18] Schober, K. Harte, A. M. Kliger, R. Jockwer, R. Xu, Q. Chen, J. FRP reinforcement of timber structures. *Construction and building materials*. V.97, p.106-118, 2015.
- [19] BELPERIO, R. GRAD, IE. The performance of glulam beams reinforced with Carbon fiber. In: *Pacific timber engineering conference, 1999, New Zeland. Anais*. V.2, p.99-106.
- [20] FIORELLI, J. DIAS, A. A. Analysis of the strength and stiffness of timber beams reinforced with Carbon Fiber and Glass fiber. *Materials research*. V.6, n.2, p.193-202, 2003.
- [21] Lopez-anido, R. A. Muszynski, L. Gardner, D. J. Goodell, B. Herzog, B. Performance-based material evaluation of fiber-reinforced polymer-wood interfaces in reinforced glulam members. *Journal of testing and evaluation*. v.33, n.6, 10p., 2005.
- [22] SILVA JUNIOR, O. G. *Produção e Caracterização de compósitos à base de fibra de Curauá, Amido termoplástico e polietileno, utilizando-se a termografia. Dissertação (Mestrado em Design) – Escola de Design, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 129p. 2013.*
- [23] MARINELLI, A. L. ET. AL. *Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da Biodiversidade: Uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 2008, v. 18, n. 2, p.92-99.*
- [24] TOMCZAK, F. *Estudo sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. Tese (doutorado). Engenharia e ciencia dos materiais UFPR. Curitiba, PR, 2010, 135p.*
- [25] SILVA, R. V. AQUINO, R. M. F. Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v.27. p.103-112, 2008. Disponível em: <<http://jrp.sagepub.com/content/27/1/103>>. Acessado em: jul. 2014.
- [26] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *Circular Técnica 123: Cultivo do Sisal no nordeste Brasileiro. Campina Grande- PB, 2008, 24p.*
- [27] FIORELLI, J.; DIAS, A. A. *Fiberglass-reinforced glulam beams: mechanical properties and theoretical model. Materials Research. Vol.9, n.3, São Carlos, 2006*
- [28] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 7190 – *Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.*
- [29] FIORELLI, J. REMPE, N. MOLINA, J.C. DIAS, A.A. *Natural Fiber-Reinforced Polymer for Structural Application. In: Agricultural Biomass Based Potential Materials, Springer, p.35-49, 2015.*
- [30] SPINACÉ, M. A. S. et al. *Poliiolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: Sisal vs. Curauá. Polimeros, V.21, N. 3, p.168-174, 2011.*
- [31] FIORELLI, J. *Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro. Tese (doutorado). Ciência e engenharia dos materiais – USP. São Carlos, 2005. 108p.*