

A aderência do reforço de fibra de vidro em madeira submetido à temperaturas elevadas

Resumo: A madeira é muito utilizada na construção civil. Assim, reforçá-la com materiais compósitos tem sido uma alternativa para melhorar os resultados de resistência mecânica. No entanto, faz-se necessário verificar o comportamento do conjunto submetido a várias situações críticas, como as altas temperaturas. O objetivo desta pesquisa foi verificar a influência de temperaturas maiores do que a ambiente em peças de Tanibuca (*Buchenavia sp.*) reforçadas com um compósito de matriz de resina de epóxi e fibra de vidro. Os resultados mostram que o teor de umidade e a resistência ao arrancamento decrescem conforme a temperatura aumenta.

Palavras-chave: Adesivo, Durabilidade, Arrancamento, Resistência.

The adhesion of fiberglass reinforcement to wood subjected to high temperatures

Abstract: Wood is widely used in civil construction. Thus, wood reinforced with composite materials have been an alternative to improve mechanical strength. However, it is necessary to verify the behavior of the set subjected to several critical situations, such as high temperatures. The objective of this research was to verify the influence of higher temperatures than the environment temperature in Tanibuca (*Buchenavia sp.*) reinforced with epoxy resin matrix and fiberglass composites. The results show that the moisture content and pull-off strength decreased as the temperature increased.

Keywords: Adhesive, Durability, Pull-off, Strength.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que permite inúmeras utilizações. Na construção civil, o uso como elemento estrutural em pontes, coberturas, vigas, mezaninos, entre outros, por vários séculos, deve-se, principalmente, as suas várias características vantajosas, como ser ecologicamente correta (Lenzi et al., 2018). Costa (2009) considera que pelo fato da madeira ser um material renovável, se torna uma escolha preferível dos projetistas que tenham em vista uma construção sustentável.

Enquanto elemento estrutural, sabe-se que a madeira é diretamente solicitada quanto às suas propriedades mecânicas, neste sentido, no decorrer das últimas décadas, tem havido uma série de estudos com o objetivo de utilizar a madeira com algum reforço que gere melhores resultados mecânicos do conjunto, podendo ser através da junção da madeira a um material compósito.

Ventura (2009) caracteriza material compósito como aquele em que é constituído por duas ou mais fases diferentes para formar um material que tenha melhor desempenho de suas

propriedades mecânicas, sendo comumente usados na forma de um reforço de fibra embutido em uma matriz polimérica.

Considerando as situações adversas as quais os elementos estruturais de madeira podem estar submetidos ao longo de sua vida útil, como umidade, ação de fungos, cupins típicos do clima tropical brasileiro (Mohamad et al., 2011) e temperatura, faz-se necessário estudar o comportamento de elementos de madeira reforçados quando submetidos a essas condições, devido, especialmente, a necessidade de aprimorar o conhecimento sobre a durabilidade do conjunto.

Desse modo, este estudo tem por objetivo avaliar a influência de temperaturas acima da temperatura ambiente na espécie de madeira Tanibuca (*Buchenavia sp.*) reforçada com material compósito, cuja matriz é uma resina epóxi e o reforço é a fibra de vidro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 A madeira, a fibra de vidro e os adesivos

A madeira utilizada na confecção dos corpos de prova é da família Combretaceae, conhecida como Tanibuca. A amostra, proveniente de florestas do estado do Pará, foi extraída de lotes homogêneos, conforme especificado pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997), apresentou densidade de 0,95 g/cm³ e teor de umidade de 11,5 %.

O tecido utilizado como reforço nas peças de madeira é uma fibra de vidro bidirecional, com peso de 600 g/m², da CENTERGLASS. Para fixar a fibra de vidro à madeira, foi utilizada a resina epóxi GY 250 de caráter bicomponente, juntamente com o endurecedor ARADUR 63, ambos também da CENTERGLASS e o fabricante indica uma proporção de 1:2.

Para os ensaios de arrancamento, os discos metálicos foram fixados à madeira utilizando o adesivo estrutural à base de resina epóxi SIKADUR® 32, por ter apresentado melhor desempenho nos trabalhos realizados no laboratório. O adesivo também é bicomponente e o fabricante indica uma mistura de 1:2.

A amostra desta pesquisa foi composta por 6 corpos de prova, agrupados em ensaio com 3 níveis de temperatura: 28, 50 e 70 °C; Resultando em quatro ensaios por temperatura.

2.2 Confecção e aquecimento dos corpos de prova

Os corpos de prova foram produzidos nas dimensões 30 cm x 10 cm x 5 cm e as fibras

de vidro cortadas em 30 cm x 10 cm. As medidas foram definidas a partir da pesquisa de Mantovani et al. (2014).

Uma camada de adesivo foi aplicada, com o auxílio de um pincel, sobre uma das faces maiores. Posteriormente, a fibra de vidro foi pressionada na superfície, e mais uma camada de cola foi aplicada sobre o reforço, para garantir a completa aderência entre a fibra e a madeira. A cura completa do adesivo ocorreu em 7 dias.

Em seguida, os corpos de prova foram serrados com um serra copo, a fim de delimitar a área de ensaio de arrancamento (*pull-off*), de acordo com a recomendação da Norma C 1583-04 (ASTM, 2004).

Para os ensaios, em cada face reforçada com fibra de vidro no corpo de prova, foram colados, com o adesivo, 2 discos metálicos rígidos de 50 mm de diâmetro. As Figuras 1 e 2 exibem as configurações finais dos corpos de prova.



Figura 1. Corpos de prova com o compósito de fibra de vidro.



Figura 2. Corpos de prova com disco metálico colados.

No forno, já aquecido à temperatura dos ensaios, foram introduzidos os corpos de prova, permanecendo por 120 minutos (50 °C) e por 140 minutos (70 °C), de acordo com estudos feitos previamente para relacionar o tempo com a temperatura do corpo de prova.

Para isso, foi utilizado um forno elétrico da De Leo, com controle automático de temperatura e precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$. A temperatura foi observada usando um termômetro fixado a parte superior da estufa.

2.3 Determinação do teor de umidade e ensaio de arrancamento ou teste de *Pull-Off*

Para a determinação do teor de umidade dos corpos de prova, foi utilizado o método elétrico, que consiste na obtenção por meio de um medidor de umidade, modelo DL 2000 da DIGISYSTEM.

O ensaio *pull-off* foi realizado com o auxílio do equipamento dinamômetro da SOLOTEST, cuja capacidade máxima é de 1200 Kgf. Para efetuar o ensaio, o disco de metal

colado à madeira foi encaixado no aparelho através de um pino na sua extremidade superior. O esforço, portanto, é transmitido pelo aparelho, ao longo do pino, que o transmite para a pastilha metálica.

Para as temperaturas de 50 e 70 °C, o ensaio foi realizado fora da estufa, imediatamente após serem retirados, pois a geometria do equipamento impossibilitou a aferição *in loco*.

2.4 Determinação da resistência ao arrancamento

A resistência ao arrancamento é calculada através da Equação 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

onde:

σ : resistência ao arrancamento (MPa), para a temperatura T;

F : força máxima aplicada ao disco (N), para a temperatura T;

A : projeção da área do reforço ou substrato arrancado sobre o corpo de prova (mm²).

3. RESULTADOS

Após a realização dos ensaios, os resultados referentes ao teor de umidade e à resistência a aderência do reforço de fibra de vidro à madeira foram tratados e são apresentados nesta seção.

3.1 Teor de umidade

Na Figura 3 estão os valores médios dos teores de umidade dos corpos de prova, de acordo com suas respectivas temperaturas.

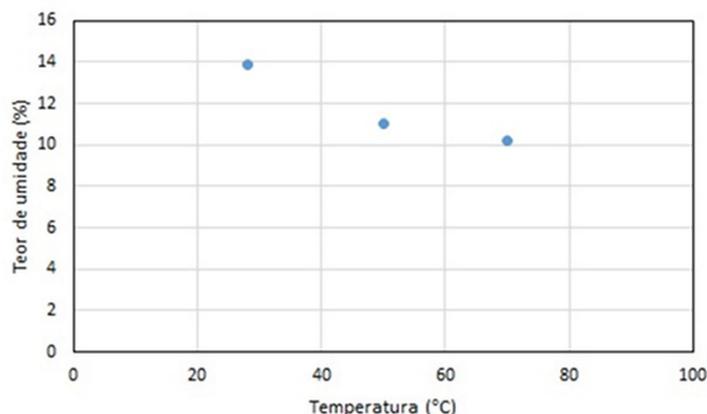


Figura 3. Teores de umidade.

3.2 Tipos de ruptura

Durante os ensaios, foram observados dois tipos de ruptura: ruptura 100% no substrato e ruptura na linha de cola entre a fibra de vidro e a madeira.

3.3 Resistência ao arrancamento

Os valores médios das forças (em Kgf e N) obtidas nos ensaios de arrancamento e suas respectivas resistências estão na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios das forças e resistências.

Temperatura (°C)	Carga (Kgf)	Carga (N)	Resistência (MPa)
28	785	7698,50	3,92
50	346	3393,22	1,73
70	138,25	1355,82	0,69

4. DISCUSSÃO

Constatou-se que o teor de umidade da madeira decresce conforme aumenta a temperatura, resultado já esperado, uma vez que a elevação da temperatura provoca perda de água do material.

A partir dos tipos de rupturas ocorridas, nota-se que houve variação em um mesmo corpo de prova, o que pode ser explicado por uma possível não uniformidade da temperatura ou da quantidade de adesivo empregado em cada furo. Ainda assim, foi possível observar que a elevação da temperatura afeta diretamente a matriz polimérica utilizada para unir a fibra de vidro à madeira, visto que a ruptura de 70 °C foi integralmente entre a matriz e a madeira (Figura 4) e a de temperatura ambiente (28 °C) totalmente no substrato (Figura 5), resultados coincidentes aos obtidos por Mantovani et al. (2014).



Figura 4. Corpos de prova após o ensaio *pull-off* a temperatura de 70 °C.



Figura 5. Corpos de prova após o ensaio *pull-off* a temperatura ambiente.

Nas resistências ao arrancamento, quando comparadas à temperatura ambiente, foram

notadas reduções de aproximadamente 56%, nas peças submetidas a 50 °C, e de aproximadamente 82%, nos corpos de prova submetidos a 70 °C. A redução de resistência, com o aumento da temperatura, indica que quanto maior a temperatura a qual o conjunto esteja submetido, menor poderá ser a resistência mecânica, fato de extrema relevância e que deve ser considerado no uso do conjunto para fins estruturais.

5. CONCLUSÕES

Após a realização deste trabalho, pode concluir-se que:

- Que o teor de umidade e a resistência ao arrancamento reduzem com o aumento da temperatura;
- A matriz polimérica perde suas funções de unir os elementos compósitos conforme a temperatura aumenta e, portanto, deve-se ter cautela quanto ao uso da madeira reforçada com compósito de matriz de resina de epóxi, se previsto, em situações de serviço, temperaturas maiores do que a ambiente.

6. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

American Society for Testing and Materials Internacional - C 1583: Standard Test Method for Tensile Strength of Concrete Surface and the Bond Strength of Concrete Repair and Overlay Materials by Direct Tension (*Pull-off Method*). 2004.

Costa LF. Tipificação de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos [dissertação]. Porto: Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto; 2009.

Lenzi F, Matias PO, Risson AV. Análise de fibras de vidro em vigas de madeira laminada colada submetidas à flexão simples. *Revista Eletrônica de engenharia Civil* 2018; 14(1): 124-141.

Mohamad G, Accordi J, Roca LE. Avaliação da associação de compósito de fibra de vidro e carbono no reforço de madeira eucalyptus in natura e autoclavada. *Revista Matéria* 2011; 16(1): 621-637.

Mantovani GZ, Valle A, Moraes PD. Influência de temperaturas elevadas na aderência do reforço com fibras de vidro à madeira. *Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira* 2014: 1-10.

Ventura AM. Os compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. *Ciência e tecnologia dos materiais* 2009; 21(3-4): 10-19.