

POTENCIAL DA UNIÃO DE PEÇAS DE PINUS COM CAVILHAS DE ITAÚBA SOLDADAS POR FRICÇÃO ROTATIVA

Ana Carolina Costa Viana^{1*}; Luisa Gabriela da Costa Peres¹; Poliana Dias de Moraes¹; Walter
Lindolfo Weingaertner²

¹ Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil.

² Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis/SC, Brasil.

* e-mail do autor correspondente: anacarolviana@outlook.com

Resumo: O objetivo desta pesquisa é avaliar o desempenho mecânico da união de peças de pinus com cavilhas de itaúba soldadas por fricção rotativa (SFR). Os corpos de prova compreenderam cavilhas de itaúba (*Mezilaurus itauba*) de 10 mm de diâmetro soldadas em pré-furos de 8 mm de diâmetro, usinados nos substratos de pinus (*Pinus taeda*). Eles foram submetidos a ensaios de tração, a fim de determinar a resistência ao arrancamento da cavilha. Os resultados revelaram que há potencial na união de peças de pinus com cavilhas de itaúba SFR, visto que a resistência média ao arrancamento da cavilha é 0,82 MPa.

Palavras-chave: *Pinus taeda*; *Mezilaurus itauba*; Soldagem por fricção rotativa

POTENTIAL OF JOINING PINE PIECES WITH ITAUBA DOWELS WELDED BY ROTARY FRICTION

Abstract: The aim of this research is to evaluate the mechanical performance of joining pine pieces with itauba dowels welded by rotary friction (RFW). The specimens consisted of itauba (*Mezilaurus itauba*) dowels with 10 mm in diameter welded into two-stage pre-drilled holes with 8 mm in diameter, machined in pine (*Pinus taeda*) substrates. They were subjected to tensile tests in order to determine the pullout strength of the dowel. The results revealed that there is potential when joining pine pieces with RFW itauba dowels, since the average pullout strength of the dowel is 0,82 MPa.

Keywords: *Pinus taeda*; *Mezilaurus itauba*; Rotary friction welding

1. INTRODUÇÃO

A técnica da soldagem por fricção rotativa (SFR) é capaz de unir peças de madeira em poucos segundos, sem o uso de adesivos, pregos ou parafusos, que afetam a sustentabilidade e a reciclabilidade [1; 2]. Ela consiste em inserir cavilhas, com rotação e avanço determinados, em pré-

furos de menor diâmetro, usinados nos substratos [3]. Esse processo gera atrito, proveniente da pressão normal e do movimento relativo entre as superfícies da cavilha e do pré-furo [1]. Assim, o aumento da temperatura na interface de soldagem, causa o derretimento e o fluxo das hemiceluloses e da lignina, formando um material amorfo e denso, fundido com microfibrilas de celulose [1].

[4-6] evidenciaram o potencial da aplicação da SFR em elementos estruturais de madeira engenheirada, como vigas e painéis, usando faia e abeto de origem europeia. As vantagens da madeira engenheirada incluem: propriedades mecânicas mais homogêneas, maiores estabilidade dimensional e durabilidade e possibilidade de produzir seções estruturais maiores e mais complexas [2]. A madeira laminada cavilhada (DLT) e a madeira laminada cruzada cavilhada (DCLT) podem ser unidas com cavilhas SFR.

O emprego da técnica da SFR em madeiras nativas e plantadas no Brasil é recente. [7] obtiveram resultados promissores de desempenho mecânico (2,41 MPa) ao soldarem substratos de pinus, compostos de uma única peça, com cavilhas de itaúba. Os parâmetros ótimos de SFR foram: relação diâmetro cavilha/pré-furo de 1,25; avanço de 500 mm/min; e rotação de 1000 rpm.

No Brasil, o pinus é uma madeira comumente usada na produção de elementos de madeira engenheirada [8]. Portanto, verifica-se a necessidade de avaliar o potencial da união de peças de pinus com cavilhas SFR. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho mecânico da união de peças de pinus com cavilhas de itaúba SFR, a partir da determinação da resistência ao arrancamento da cavilha.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra e corpos de prova

A amostra usada na pesquisa era composta de 5 corpos de prova, formados pela cavilha de itaúba (*Mezilaurus itauba*) e pelo substrato de pinus (*Pinus taeda*), com densidades aparentes médias de 824 e 606 kg.m⁻³ (12% de teor de umidade), respectivamente. As cavilhas eram lisas (80 mm de comprimento e 10 mm de diâmetro) e os substratos eram compostos de duas peças (63,5 mm × 50 mm × 25 mm). Suas dimensões foram adaptadas da norma NBR 7190 [9] para ensaio de tração normal às fibras da madeira (Figura 1). Nas peças, foram usinados pré-furos de 8 mm de diâmetro, no plano radial-tangencial do substrato, perpendicular às fibras e tangencialmente aos anéis de crescimento.

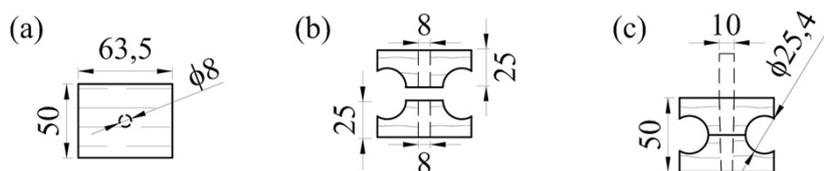


Figura 1: Dimensões dos corpos de prova (mm) (a) vista superior; (b) vista frontal; (c) vista frontal SFR

2.2 Soldagem por fricção rotativa (SFR)

O processo de SFR foi realizado no centro de usinagem Charles MVC 955. As cavilhas foram soldadas nos pré-furos dos substratos a 50 mm de profundidade, com avanço de $500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ e rotação de 1000 rpm [7]. Após a SFR, os corpos de prova foram armazenados a $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa por 7 dias [10], para que recuperassem o teor de umidade perdido durante a SFR. Em seguida, eles foram submetidos a ensaios tração.

2.3 Ensaio mecânico de tração

Os corpos de prova foram ensaiados à tração, a fim de determinar a resistência ao arrancamento da cavilha. Os ensaios foram realizados em uma máquina universal Instron, pela aplicação de uma força de tração na peça superior do corpo de prova, perpendicular às fibras da madeira do substrato e paralela às fibras da madeira da cavilha. O carregamento aplicado no corpo de prova foi monotônico crescente, decorrente do deslocamento da travessa do equipamento a uma taxa de $2 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, na qual estão embutidas as deformações do dispositivo.

2.3.1 Determinação da resistência ao arrancamento da cavilha

A determinação da resistência ao arrancamento da cavilha foi feita a partir da força máxima verificada no ensaio de tração dos corpos de prova. Ela foi expressa pela razão entre a força máxima e a área da interface soldada da peça inferior, que corresponde a região em que a ligação se rompe (Equação 1) [3].

1)

sendo τ a tensão, em MPa; $F_{\text{máx}}$ a força máxima, em N; h profundidade de inserção da cavilha na peça inferior, em mm; r_i e r_f os raios da cavilha nas extremidades da peça inferior, em mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de força máxima e resistência ao arrancamento da cavilha, referentes aos corpos de prova, são apresentados na Tabela 1. A força máxima e a resistência médias e os coeficientes de variação são 475 N (30%) e 0,82 MPa (33%), respectivamente. Os corpos de prova com a maior e

menor resistência são CP4 (1,13 MPa) e CP1 (0,53 MPa), os quais apresentam uma diferença de 53%, devido à heterogeneidade da madeira [12].

Tabela 1: Força máxima e resistência ao arrancamento das cavilhas

Corpo de prova	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
Força máxima (N)	342	484	331	665	552
Resistência ao arrancamento da cavilha (MPa)	0,53	0,96	0,54	1,13	0,93

[7] obtiveram resultados de resistência média e coeficiente de variação de 2,41 MPa e 20%, respectivamente, ao soldarem cavilhas de itaúba em pré-furos de 40 mm de profundidade, usinados nos substratos de pinus compostos de uma única peça. Verifica-se que a resistência média é superior à da presente pesquisa, apesar dos parâmetros de SFR serem os mesmos. Isso pode estar relacionado ao diferente número de peças que compõem o substrato.

[13] relataram resultados de resistência média de 1,91 MPa. Eles soldaram cavilhas de faia (10 mm de diâmetro), a 1520 rpm, em pré-furos de 8 mm de diâmetro e 50 mm de profundidade, usinados nos substratos compostos de duas peças, uma de abeto (superior) e uma de carvalho (inferior). Nota-se que a resistência mínima obtida por [13], cerca de 1,39 MPa, se aproxima do valor do CP4 (1,13 MPa). No entanto, a resistência média de [13] é 57% superior à desta pesquisa. Isso pode estar relacionado a diferenças nos parâmetros de SFR, como as espécies de madeira e a rotação da cavilha. Diante do exposto, verifica-se que há potencial na união de peças de pinus com cavilhas de itaúba. Contudo, é importante determinar os parâmetros ótimos de SFR, a fim de obter o melhor desempenho mecânico da ligação.

4. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, foi avaliado o desempenho mecânico da união de peças de pinus com cavilhas de itaúba SFR. A amostra era constituída de 5 corpos de prova, formados por cavilhas (10 mm de diâmetro) soldadas a 500 mm.min⁻¹ de avanço e 1000 rpm de rotação, em pré-furos (8 mm de diâmetro) usinados nos substratos. Os resultados revelaram que há potencial na união de peças de pinus com cavilhas de itaúba SFR, visto que a resistência média ao arrancamento da cavilha é 0,82 MPa. Contudo, é importante determinar os parâmetros ótimos de SFR, para obter o melhor desempenho mecânico da ligação.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Leban, J. M.; Pizzi, A.; Properzi, M.; Frederic, P.; Gelhaye, P.; Rose, C. Wood welding - A challenging alternative to conventional wood gluing. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2005; 20: 534-538.
- [2] Sotayo, B.; Bradley, D.; Bather, M.; Sareh, P.; Oudjene, M.; El-Houjeyri, I.; Harte, A. M.; Mehra, S.; O’Ceallaigh, C.; Haller, P.; Namari, S.; Makradi, A.; Belouettar, S.; Bouhala, L.; Deneufbourg, F.; Guan, Z. Review of state of the art of dowel laminated timber members and densified wood materials as sustainable engineered wood products for construction and building applications. *Developments in the Built Environment*. 2020; 1.
- [3] Belleville, B.; Stevanovic, T.; Pizzi, A.; Cloutier, A.; Blanchet, P. Determination of optimal wood-dowel welding parameters for two north American hardwood species. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2013; 27(5): 566-576.
- [4] Bouquet, J. F.; Pizzi, A.; Resch, L. Full-scale (industrial) wood floor using welded-through dowels. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2006; 20(15): 1727-1739.
- [5] Belleville, B.; Segovia, C.; Pizzi, A.; Stevanovic, T.; Cloutier, A. Wood blockboards fabricated by rotational dowel welding. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2011; 25(20): 2745-2753.
- [6] O’Loinsigh, C.; Oudjene, M.; Ait-Aider, H.; Fanning, P.; Pizzi, A.; Shotton, E.; Meghlat, E. M. Experimental study of timber-to-timber composite beam using welded-through wood dowels. *Construction and Building Materials*. 2012; 36: 245-250.
- [7] Viana, A. C. C.; Moraes, P. D.; Weingaertner, W.; Zaniboni, P. A. N.; Prando, T. Soldagem das madeiras de pinus e de itaúba por fricção rotativa. *Revista Principia*. 2021; 57: 63-75.
- [8] Pereira, M. C. M.; Sohier, L. A. P.; Descamps, T.; Calil Jr, C. Doweled cross laminated timber: Experimental and analytical study. *Construction and Building Materials*. 2021; 273.
- [9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- [10] International Organization for Standardization. ISO 13061-17: physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens. Geneva, 2017.
- [11] Field, A.; Miles, J.; Field, Z. *Discovering Statistics Using R*. London: SAGE, 2012.
- [12] Kollmann, F. F. P.; Côté, W. A. *Principles of Wood Science and Technology*. New York: Springer-Verlag, 1968.
- [13] Zupčić, I.; Mihulja, G.; Bogner, A.; Grbac, I.; Hrovat, B. Welding of solid wood. *Drvna Industrija*. 2008; 59(3): 113 – 119.