Resistência ao cisalhamento em peças de madeira coladas e pregadas em estruturas

Resumo: O comportamento mecânico da madeira unida por elementos de ligação quando submetida ao esforço cortante ainda não está bem estabelecido. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de adesivo entre as partes na resistência ao cisalhamento de peças ligadas. Para isso, realizou-se 30 testes de cisalhamento confeccionados com madeira de *Eucalyptus* a partir de três peças, de forma que os planos da seção crítica fossem paralelos à direção radial da madeira, conectados por elementos de ligação com ou sem aplicação de adesivo. Os resultados mostraram que a resistência ao cisalhamento em ensaio push-out variou significativamente para os corpos pregados, colados e colados e pregados. Diante disso, a aplicação de adesivo em elementos pregados não melhorou o desempenho mecânico das peças e provocou redução de 7.8% da resistência ao cisalhamento em ensaio push-out. Além disso, para pequenas estruturas, a aplicação de adesivo foi suficiente para garantir resistência.

Palavras-chave: Pinos metálicos. Push-out. Efeito de adesivo.

Shear strength in wood pieces glued and nailed to structures.

Abstract: The mechanical behavior of the wood bonded by bonding elements when subjected to shear stress is still not well established. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of adhesive application between the parts on shear bond strength. For this, 30 shear tests were made with Eucalyptus wood from three pieces, so that the planes of the critical section were parallel to the radial direction of the wood, connected by connecting elements with or without adhesive application. The results showed that the shear strength in the push-out test varied significantly for the nailed, glued and bonded and nailed bodies. Therefore, the application of adhesive in nailed elements did not improve the mechanical performance of the parts and caused a reduction of 7.8% of shear strength in a push-out test. In addition, for small structures, the application of adhesive was enough to guarantee resistance.

Keywords: Metallic pins. Push-out. Effect of adhesive.

1. INTRODUÇÃO

A madeira é reconhecida como um material renovável, com baixo consumo energético de produção, alta relação resistência/peso, além de reter e armazenar carbono em sua produção (Calil Neto, 2014). Com a industrialização de estruturas de madeira, utilização de espécies de reflorestamento e os avanços das tecnologias empregadas no beneficiamento, ela se destaca como um material utilizado para fins estruturais (Kozerski, 2012). No ramo da construção, atualmente, é um dos três materiais estruturais mais utilizados, juntamente com o concreto e o aço (Ramage et al., 2016).

Diante disso, a madeira ainda pode ser considerada um material eficiente em

estruturas, ou partes de estruturas, nas quais uma alta proporção da carga a ser resistida é o próprio peso da estrutura (Ramage et al., 2016). Para fins comerciais, existem limitações das peças devido à geometria ou dimensões das mesmas, sendo necessária a utilização de elementos de ligações, os quais sejam compatíveis com as solicitações mecânicas (Kozerski, 2012 e Calil Neto, 2014). A Norma Brasileira (NBR) 7190, descreve que as ligações podem ser feitas por meio de pinos metálicos, os quais são constituídos por pregos ou parafusos e também por meio de ligações coladas.

Sabe-se que as conexões pregadas são muito antigas, porém ainda praticada atualmente por possuírem uma rápida execução, não necessitarem de equipamentos muito sofisticados, além das vantagens como ductilidade e capacidade de dissipar energia (Meghlat et al., 2013). Nos elementos colados, as tensões geradas são muito importantes no equilíbrio geral da resistência. Além disso, quanto maior a resistência da linha de cola comparada com a da madeira, maior a porcentagem de quebra ou falhas na interface com a linha de cola (Pinto, 2011). Sendo assim, o dimensionamento das ligações é considerado um dos aspectos mais importantes e delicados em um projeto de estruturas de madeiras (Almeida, 2012).

Apesar disso, o comportamento mecânico da madeira unida por elementos de ligação quando submetida ao esforço cortante não está suficientemente estabelecido, sobretudo em madeiras de rápido crescimento, como o *Eucalyptus*. Assim, objetivou- se com este estudo determinar como os pregos influenciam na resistência da peça emendada ao cisalhamento para uso estrutural. Ainda, pretendeu- se avaliar o efeito da aplicação de adesivo entre as partes na resistência ao cisalhamento de peças ligadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

As madeiras utilizadas no estudo foram retiradas de árvores de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com 6 anos de idade, fornecidas pela empresa Cenibra S.A, localizada em Belo Oriente, Minas Gerais.

2.2 Preparação dos corpos de prova

30 corpos de prova foram analisados, sendo 10 colados, 10 pregados e 10 colados e pregados. O adesivo utilizado foi o acetato de polivinila, enquanto que os pregos foram do tipo sem cabeça, de aço polido com dimensões de 2,5 mm x 35 mm. Os corpos de provas foram compostos de três partes iguais com as dimensões de 25 mm x 25 mm x 100 mm, dos

quais os planos da seção crítica foram paralelos à direção radial da madeira.

2.3 Ensaios push-out

Os testes foram conduzidos de acordo com a Norma Europeia Padrão (EN) de 26891 (EN 1991), em que os parâmetros do procedimento de carregamento foram definidos com base na carga máxima estimada (Fmax), obtida do teste preliminar conduzido até a falha. A configuração do teste de cisalhamento push-out foi composta por três membros de madeira com dimensões de 25 mm x 25 mm x 100 mm, interligado por quatro pregos sem cabeça de aço polido (dois por lado) de 2,5 mm x 35 mm.

2.4 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no *software* "SPSS Statistics v.19" para determinação das estatísticas descritivas, análises de variância e comparação múltipla de médias (Tukey, α=0,05). Para a análise de variância, foram considerados como fonte de variação o tipo de ligação. Os gráficos foram realizados no *software* GraphPad Prisma versão 5.01 para Windows (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA).

3. RESULTADOS

O ensaio push-out permitiu a determinação da resistência dos elementos colados, pregados e do conjunto colados e pregados ao cisalhamento. Diante disso, foi verificado que houve variação significativa entre os elementos colados e pregados, bem como entre os o conjunto colados e pregados e pregados (Figura 1).

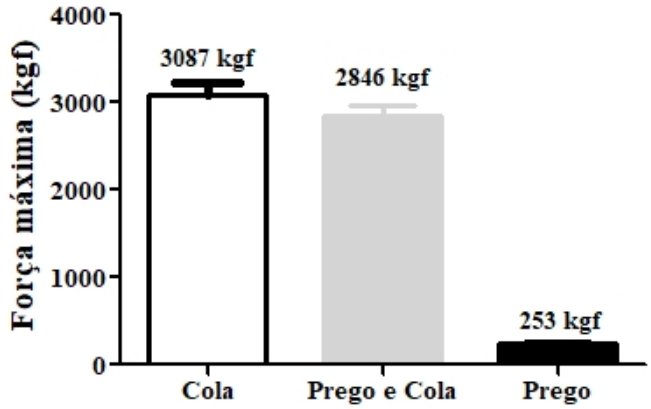

Figura 1. Variação da resistência em ensaio push-out entre os elementos.

A Figura 1 apresenta os valores médios das forças máximas suportadas pelo ensaio push-out. Desses elementos, a força máxima foi para o elemento colado (3087 kgf)

seguido pelo conjunto de elementos- colados e pregados (2846 kgf), e, finalmente o elemento pregado apresentou menor força máxima (253 kgf). Apesar disso, o elemento prego apresentou maior capacidade deformação no ensaio quando comparado aos demais tratamentos, o que está ilustrado na Figura 2, onde o elemento colado foi representado pela linha azul, o conjunto pela linha tracejada vermelha e o elemento pregado pela linha preta.

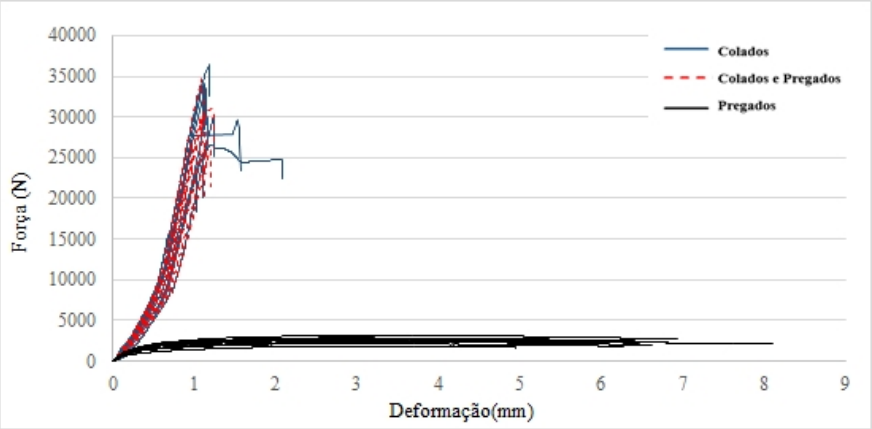

Figura 2. Diagrama força *versus* deformação para os elementos do ensaio push-out.

4. DISCUSSÃO

Na literatura é possível encontrar trabalhos que avaliaram ligações entre elementos a partir do teste push out. Por exemplo, Meghlat et al. (2012) compararam três tipos diferentes de parafusos em ensaio de força e deslocamento e concluíram que que o diâmetro do parafuso tem uma leve influência no comportamento elástico, enquanto a influência é ainda maior na região pós-elástica. Além disso, Bianche et al. (2016) também avaliaram em um estudo isolado a resistência ao cisalhamento na linha de cola de *Eucalyptus sp.* e *Pinus sp* para cinco tipos de adesivos em três pesos diferentes. Diante disso, foi possível encontrar interação significativa entre carga e o tipo de adesivo para a resistência ao cisalhamento na linha de cola de madeira de eucalipto em condição seca. Entretanto, não foi encontrada nenhuma interação entre carga e adesivo para o *pinus*, apenas o efeito isolado do adesivo.

Na literatura não há nenhum estudo sobre o efeito de adesivo na resistência ao cisalhamento em elementos colados e/ou pregados. Neste trabalho, a resistência ao cisalhamento em ensaio push-out variou significativamente para os corpos de prova pregados, colados e colados e pregados. Os corpos de prova pregados suportaram, em média, 253 kgf enquanto os corpos de prova colados e colados e pregados suportaram cargas de 3087 kgf e

2846 kgf, respectivamente. A aplicação de cola na madeira resultou em resistência à tensão de cisalhamento de 82,3 kgf/cm² de área colada. A aplicação de pregos em elementos colados não melhorou o desempenho mecânico das peças, provocando redução de na redução de 7.8% da resistência ao cisalhamento em ensaio de push-out. Para pequenas estruturas, a aplicação de cola é suficiente para garantir resistência de 82,3 kgf/cm² em elementos colados sujeitos à força cortante.

O presente estudo apresentou promissoras descobertas na área de ligações em estruturas, as quais poderão favorecer o desenvolvimento de estruturas mais resistentes a fim de atingir um público consumidor mais amplo e específico. Além disso, o presente estudo apresenta resultados úteis e com aplicação prática imediata na manufatura de estruturas de madeira, como móveis de madeira e objetos de adorno.

5. CONCLUSÕES

Os resultados mostram que houve variação significativa na resistência ao cisalhamento em ensaio push-out entre os tratamentos colado e pregado e entre o conjunto - colado e pregado - e pregado. Os corpos de prova colados e colados e pregados suportaram cargas de 3087 kgf e 2846 kgf, respectivamente, mas o aumento não é estatisticamente significativo. A aplicação de adesivo em pequenas estruturas é suficiente para garantir a resistência de 82,3 kgf/cm² em elementos unidos com adesivos sujeitos à força cortante.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira da Universidade Federal de Lavras (UFLA) pelo apoio ao trabalho experimental. Este estudo foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq Brasil, processo nº 405085 / 2016-8), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brasil) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, número de concessão APQ-00509-14). O PRG Hein recebeu apoio do CNPq (processo nº 303675 / 2017-9).

7. REFERÊNCIAS

ABNT. Projeto de Estruturas de Madeira. NBR 7190, Rio de Janeiro, 1997.

Almeida DH. Análise das resistências de embutimento e compressão para madeiras de Pinus e Eucalipto. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Itapeva, 2011.

Almeida FAL. A madeira como material estrutural– projeto da estrutura da cobertura de um edifício Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) a Mestrado Integrado em Engenharia Civil –Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.

Bianche JJ, Carneiro ACO, Ladeira JPS, Teixeira APM, Pereira FA, Oliveira BS, Shear strength in the glue line of *eucalyptus* sp. and *pinus* sp.wood. Rev. Árvore vol.40 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2016.

Calil Neto C. Ligações com parafusos auto-atarraxantes sem préfuração para uso em estruturas de madeira. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

EN 26891. Timber structures – joints made with mechanical fasteners – general principles for the determination of strength and deformation characteristics, ISO 6891-1983 (E); 1991.
Kozerski CE. Análise comparativa de ligação com pinos metálicos, pregos e parafusos em estruturas de madeira. Monografia (Especialização em Projeto de Estruturas) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2012.

Meghlat EM, Oudjene M, Ait-Aider H, Batoz JL. A new approach to model nailed and screwed timber joints using the finite element method. Construction and Building Materials 2013. 41, 263–269

Pinto JA. Análise da viabilidade do uso da madeira de C*ryptomeria japonica* para laminação e produção de painéis compensado. 2011. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011

Ramage MH, Burridge H, Busse-Wicher M, Fereday G, Reynolds T, Shah DU et al. The wood from the trees: The use of timber in construction. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2016. 68 , 333-359.