

ESBELTEZ EM LIGAÇÕES COLADAS ENTRE BARRAS DE AÇO E MADEIRA DE *Corymbia citriodora*

João M. S. DIAS¹; Sandro F. CÉSAR²; Rita D. A. CUNHA³

1 – Escola Politécnica, Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador

2 – Escola Politécnica, Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador

3 – Faculdade de Arquitetura, Departamento de Tecnologia Aplicada à Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador

Resumo: As ligações coladas entre barras de aço e madeira constituem um tipo de conexão estrutural de grande potencial de aplicação, conjugando altos desempenhos mecânicos, com durabilidade em ambientes corrosivos e estética melhorada. Contudo, o estudo do seu comportamento mecânico ainda carece de aprofundamento, havendo ainda uma ausência de fórmulas de dimensionamento consensuais destas ligações. Este trabalho apresenta resultados parciais de uma pesquisa cujo objetivo é mostrar um experimento para investigar a influência da esbeltez, dos erros de execução e dos defeitos da madeira no comportamento mecânico de ligações coladas, utilizando barras de aço e madeira. Foram realizados ensaios de tração em corpos de prova compostos por barras de aço galvanizado rosqueadas com diâmetro de 6,3mm, coladas com epóxi em peças de madeira de *corymbia citriodora* de seção transversal de 3,5 x 3,5 cm e comprimentos variáveis entre 9,6 e 42,6 cm. Os valores de esbeltez considerados variaram de 5 a 22,5 e os ensaios mostraram que somente os CPs de esbeltez igual 5 tiveram rompimento na madeira. Os demais romperam na barra de aço. Conclui-se que as resistências das ligações com esbeltez acima de 5 foram governadas pelo escoamento da barra de aço. Os resultados mostraram que as inclinações entre o eixo da barra de aço e as fibras da madeira bem como os defeitos da madeira observados não interferiram na redução da resistência das ligações para valores de esbeltez acima de 5.

Palavras-chave: Conexões, material lenhoso, metal, epóxi, ensaios mecânicos.

Abstract: Glued-in rods are one kind of connections in timber structures with great potential, due to high mechanical behaviour, durability in corrosive environments and improved aesthetics. However studies about mechanical behaviour of these joints are still not enough, besides there are no design rules of general agreement. This work shows partial results of research in which slenderness influence is assessed by assessing pull-out strength of glued-in joints with production errors and wood defects. Pull-pull tests were taken in 3,5 x 3,5 cm cross-section joints with 6.3mm threaded galvanized steel bars, glued with epoxy in *corymbia citriodora*. Slenderness values were between 5 and 22,5. Joints with slenderness value of 5 showed shear failure, while in other yielding of the rod failure mode occurred. It is clear that tensile strength of connections with slenderness ratio above 5 is higher than yielding strength of the bar. Results showed that bar-to-grain direction and wood defects did not reduce joint strength for slenderness values higher than 5.

Keywords: Joints, wooden material, metal, epoxy, mechanical tests.

1. INTRODUÇÃO

A utilização das ligações coladas com barras de aço se iniciou nos países do norte da Europa, durante os finais dos anos 70 (BROUGHTON E HUTCHINSON, 2001a), sendo empregadas em estruturas de madeira laminada colada (MLC) e madeira fina laminada colada (LVL) (TLUSTOCHOWICZ et al., 2011). Segundo Chans et al. (2010), entre os vários casos de aplicação desse tipo de ligação em estruturas de madeira exemplificam-se: o reforço em locais de concentração de tensões, a substituição de elementos estruturais danificados, como alternativa na prevenção de fissuras, em treliças espaciais. Chans et al. (2013) acrescentam que este tipo de conexão também pode permitir a ligações pilar-viga ou ligações entre a madeira e outros materiais.

Várias vantagens deste tipo de ligação são apontadas por Tlustochowicz et al. (2011) como alta resistência e rigidez, eficiência na transferência de cargas entre elementos estruturais e, devido ao fato da barra e o adesivo estarem embutidos na madeira, estas ligações possuem estética melhorada e elevada resistência ao fogo. Pigozzo e Lahr (2006) acrescentam ainda que o embutimento do adesivo e da barra na madeira proporciona uma maior durabilidade das ligações face à ação dos agentes climáticos. Já Custódio et. al (2011) referem que a execução destas juntas é rápida, introduzindo pouco peso à estrutura e exigindo poucas alterações nos elementos estruturais, além de requererem pouca quantidade de mão de obra, diminuindo os custos. Essas ligações podem ser confeccionadas tanto no canteiro de obras como colocam Broughton e Hutchinson (2001a), como produzidas fora da obra como apresentam Stepinac et al. (2013).

Com relação ao comportamento mecânico das ligações coladas entre barras de aço e madeira, este é influenciado pelo carregamento e condições de contorno, tipos de materiais envolvidos e pela geometria da ligação (TLUSTOCHOWICZ et al. ,2011). A complexidade do mecanismo da ligação, segundo Chans et al. (2008), se deve à coexistência de materiais comportamentos mecânicos distintos. A dificuldade da previsão do comportamento das conexões é também afetada pelo caráter anisotrópico e heterogeneidade da madeira, referenciados por Bengtsson et al. (2000). Devido à influência de vários fatores, Custódio et al. (2011) afirmam que a execução destas ligações deverá ser realizada por mão de obra qualificada.

Tlustochowicz et al. (2011) expõem que estas ligações estão sujeitas predominantemente às solicitações axiais, sendo a transferência do esforço entre a madeira e o aço realizada através do cisalhamento da camada de adesivo. A distribuição de tensões de cisalhamento apresenta picos de esforço nas extremidades da camada de adesivo, conforme a teoria de Volkersen apresentada pelos mesmos autores e representada na figura 1.

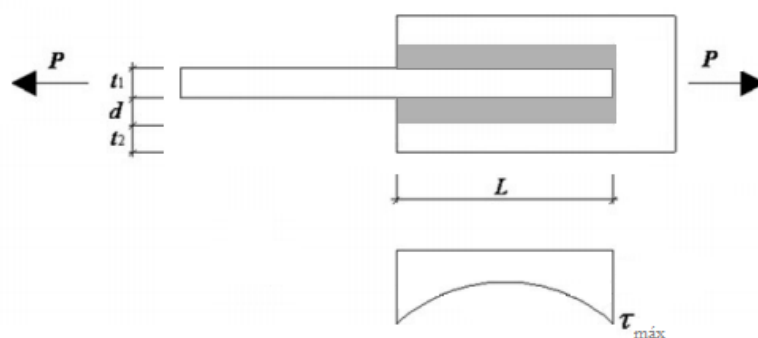


Figura 1. Distribuição de esforços da Teoria de Volkersen. Adaptado de: Tlustochowicz et al. (2011)

As ligações coladas entre barras de aço e madeira apresentam vários modos de ruptura com diferentes níveis de ductilidade. A ruptura por cisalhamento (figuras 2a e 2c) é governada pela resistência ao cisalhamento da madeira e ocorre quando o volume de madeira em volta da barra não é suficiente. A ruptura por tração do bloco (figura 2b) acontece em situações em que a barra está posicionada perpendicularmente às fibras da madeira, coincidindo com a direção ortogonal com menor resistência da madeira. A ruptura por separação da madeira (figura 2d) é devido à tração tangencial às fibras, causada por carregamentos axiais imperfeitos ou quando existe pouca quantidade de madeira em torno da barra. A ruptura por escoamento da barra (figura 2e) ocorre, quando a resistência à tração da barra é o elo mais fraco da ligação. Este último caso é considerado como o modo de ruptura ideal, atendendo à maior ductilidade e previsibilidade do comportamento da barra, que contrastam com a fragilidade da fratura do adesivo e da madeira e respectiva variabilidade do comportamento mecânico desta.

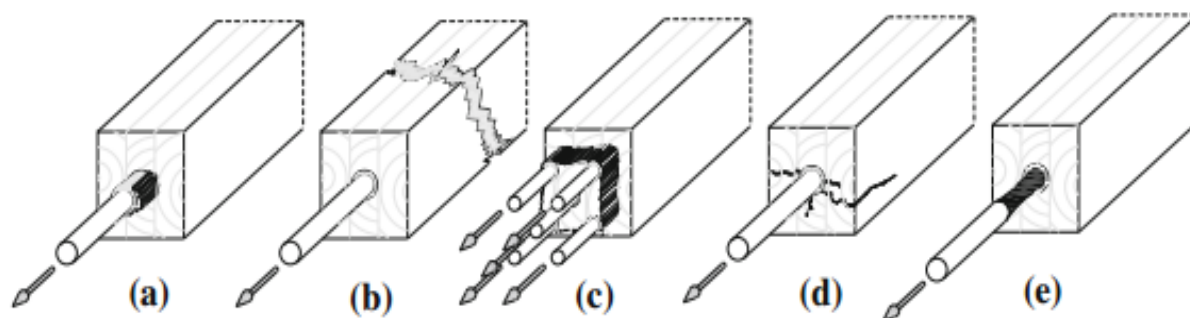


Figura 2. Modos de ruptura. Fonte: Tlustochowicz et al. (2011)

As variáveis geométricas da ligação colada entre barra de aço e madeira estão apresentadas na figura 3. Na referida figura, denomina-se D o diâmetro do furo e d o diâmetro da barra de aço; a é a largura da seção transversal da peça de madeira e b é a distância da extremidade da seção de madeira até o eixo da barra de aço; o comprimento da barra (L_b) divide-se entre comprimento exterior (L_e) – o qual permite a fixação do CP na garra da prensa de ensaio – e comprimento de ancoragem (L). Para o estudo da resistência mecânica das ligações coladas entre barras e madeira, importa ter em consideração dois parâmetros geométricos comumente encontrados nas fórmulas para a previsão da capacidade de carga sugeridas em estudos e presentes em algumas normas de dimensionamento: a espessura do adesivo e a esbelteza da ligação (λ). A espessura do adesivo é o resultado da diferença entre os raios do furo ($D/2$) e da barra ($d/2$). A esbelteza da ligação (λ) é a relação entre o comprimento de embutimento da barra (L) e o seu diâmetro (d). Quando relacionados, estes dois parâmetros permitem exprimir a área de colagem de uma ligação.

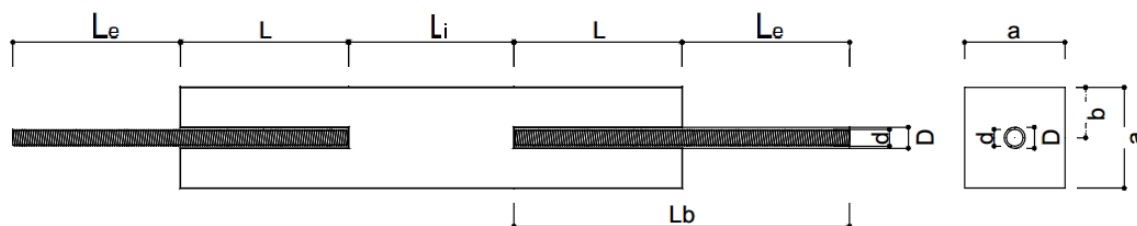


Figura 3. Variáveis geométricas das ligações coladas entre barras de aço e madeira. Adaptado de: Chans et al (2009)



As referidas formulações da capacidade de carga das ligações, presentes nas normas e em estudos científicos relacionam a esbeltez (ou o diâmetro e comprimento de ancoragem da barra de forma isolada) de forma diretamente linear com a resistência última da ligação, o que contraria as exposições de, Chans et al. (2008), Chans et al. (2010) e Martín et al. (2013), que alegam que a relação entre estes dois parâmetros não é proporcional. Vários autores expõem que os ganhos de resistência apenas são conseguidos entre determinados intervalos de esbeltez, conforme apresentado na tabela 1.

Serrano (2001a) e Chans et al. (2009) afirmam que, quanto maior é a esbeltez da ligação, maiores serão os picos de tensão de cisalhamento nas extremidades da barra, diminuindo a uniformidade da distribuição dos esforços ao longo do comprimento de ancoragem. Estes últimos também afirmam que não existe influência do comprimento de ancoragem com a rigidez da ligação e que as deformações são pouco afetadas.

Tabela 1. Resumo dos valores limites da esbeltez

Autor(es)	Esbeltez mínima	Esbeltez máxima
Buchanan e Deng (1996)	-	20
Pigozzo e Lahr (2006b)	5	20
DIN 1052 (2008)	máximo entre 10 e 0,5d	-
Chans et al (2009)	-	10
Chans et al (2013)	-	18 para madeira de baixa densidade 18 para madeira de alta densidade

Broughton e Hutchinson (2001b) referem que, de uma forma geral, ligações coladas entre barras de aço e madeiras com teor de umidade acima de 14% sofrem decréscimos da capacidade de carga, havendo uma tendência para a ruptura se afastar do eixo da barra para a madeira. Já Tlustochowicz et al. (2011) alegam que variações do teor de umidade implicam na variação volumétrica da madeira, o que introduz esforços adicionais nas ligações, podendo implicar na perda de aderência na interface madeira-adesivo. Embora Lartigau *et al* (2015) refiram que o teor de umidade ideal para realizar a colagem seja em torno de 12%, Broughton e Hutchinson (2001b) não excluem a possibilidade de incorporação de madeiras com alto teor de umidade nestas ligações, desde que sejam consideradas perdas de capacidade de carga.

A influência do ângulo formado entre a barra e as fibras da madeira não é totalmente definida. Nos estudos de Gustafsson e Serrano (2001) e Yeboah et al. (2009) é referido que a maior resistência da ligação é conseguida através do posicionamento paralelo da barra em relação às fibras. No entanto, as mesmas conclusões também poderão ser encontradas nos trabalhos de Faye et al. (2004) e Widmann et al. (2007), nos quais as barras eram perpendiculares às fibras da madeira. Chans et al. (2014) afirmam que o impacto da variação do ângulo entre a barra e as fibras depende da esbeltez da ligação. Tlustochowicz et al. (2011) referem que, em todo o caso, o ângulo entre a barra e as fibras deverá ser minimizado.

Bengtsson et al. (2000) realizaram ensaios em corpos de prova de ligações coladas entre barras de aço galvanizado rosqueado, epóxi e MLC de espruce da Noruega (*picea abies*), com o intuito de avaliar os efeitos de erros na colagem. Os furos foram preenchidos com adesivo até metade do seu volume, tendo sido registrados decréscimos da resistência mecânica das conexões entre 20% e 39%, comparativamente com os corpos de prova sem defeitos.



Apesar da utilização das ligações coladas entre barras de aço e madeira ter iniciado há 40 anos, ainda não existem procedimentos padronizados para a execução e ensaio CPs, assim como normas de dimensionamento com formulações matemáticas que permitam estimar a capacidade de carga das ligações. Estes fatos são o resultado das divergências existentes no seio da comunidade científica quanto aos modos de influência dos diversos fatores geométricos, materiais e das condições de contorno nos comportamentos mecânicos das ligações. Por outro lado, Chans et al (2009) referem que existem poucos estudos de ligações coladas com barras de aço rosqueadas e madeira de alta densidade.

Este trabalho pretende contribuir para o estudo das ligações coladas entre barras de aço galvanizado rosqueadas e madeira de alta densidade, através da investigação das influências da esbelteza da ligação, erros de execução e defeitos da madeira no comportamento mecânico das conexões. Foram realizados ensaios de tração axial em 48 corpos de prova compostos por madeira de *corymbia citriodora*, duas barras isoladas coladas com epóxi paralelamente às fibras, com comprimentos de ancoragem variando entre 3,2 cm e 14,2 cm.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova foram compostos por madeira de *corymbia citriodora*, concedida pela empresa de processamento de madeiras *CM Venturoli Ltda*, devido à sua utilização em estruturas de madeira e à sua disponibilidade no Estado da Bahia. As barras utilizadas foram rosqueadas, compostas por aço galvanizado e com diâmetro de 6,3mm. A sua escolha se deve à maior área de contato entre a barra e o adesivo (CHANS et al, 2013), dispensando tratamentos superficiais para melhoria da adesão, pela grande resistência à corrosão (CHANS et al, 2010), além de ser necessário garantir a ductilidade da ligação (PARIDA et al., 2013). O adesivo utilizado foi o epóxi *Compound* de média viscosidade da *Vedacit*, cuja escolha é justificada pelo fato do epóxi ser o adesivo estrutural com melhores desempenhos ao nível da resistência mecânica, durabilidade, preenchimento de vazios, baixa retração durante a cura, rigidez compatível com a madeira, tolerância às variações de temperatura, humidade e espessura (BROUGHTON E HUTCHINSON, 2001c).

A esbelteza das ligações variou entre 5 e 22,5, em intervalos de 2,5, com o intuito de comprovar os ganhos de resistência nos intervalos apresentados na tabela 1 no item da introdução. A distância entre as extremidades das barras (parâmetro L_i da figura 3, também mostrada na introdução deste artigo) foi mantida igual ao comprimento de ancoragem das barras de forma a evitar que a resistência da ligação fosse reduzida, conforme sugerido por Aicher et al. (1998). Foi estipulada uma distância entre o eixo da barra e a borda do bloco de madeira (parâmetro b da figura 3 da introdução) igual a 3,5cm ($2,78d$), uma vez que se pretendia evitar que a resistência da ligação fosse condicionada pela ruptura por separação da madeira (figura 2d já apresentada), visto que este modo de ruptura possui uma fratura frágil. Por outro lado, quanto menor (b), maior é a exposição do adesivo aos efeitos da temperatura e da umidade, o que não é conveniente para o desempenho da ligação. A furação foi realizada com uma broca de 8mm, proporcionando uma espessura do adesivo de 0,85mm, estando em conformidade com o intervalo apresentado por Pigozzo e Lahr (2006b) de $1,2d$ e $1,5d$. Por outro lado, espessuras de adesivo reduzidas garantem ligações resistentes à fadiga (MADHOUSHI E ANSELL, 2004) e reduzem eventuais efeitos de retração dos adesivos (BROUGHTON E HUTCHINSON, 2001c).

Cada série de ensaios teve seis repetições, estando em concordância com o número mínimo da amostra para a caracterização simples, referido pela norma NBR 7190 (ABNT



1997), totalizando 48 corpos de prova. As nomenclaturas dos corpos de prova foram realizadas conforme o número da série e da repetição (por exemplo: E1-4 é o corpo de prova correspondente à quarta repetição dentro da série E1). Na tabela 2 é possível visualizar as nomenclaturas dos corpos de prova e as suas características geométricas.

Tabela 2. Geometria e nomenclaturas dos corpos de prova

Série	Esbeltez (λ)	Seção transversal (cm x cm)	Comp. dos blocos de madeira (cm)	Comp. de ancoragem (cm)	Espessura de adesivo (mm)
E1-x	5,0	3,5 x 3,5	9,6	3,2	0,85
E2-x	7,5	3,5 x 3,5	14,1	4,7	0,85
E3-x	10,0	3,5 x 3,5	18,9	6,3	0,85
E4-x	12,5	3,5 x 3,5	23,7	7,9	0,85
E5-x	15,0	3,5 x 3,5	28,5	9,5	0,85
E6-x	17,5	3,5 x 3,5	33,0	11,0	0,85
E7-x	20,0	3,5 x 3,5	37,8	12,6	0,85
E8-x	22,5	3,5 x 3,5	42,6	14,2	0,85

Após o corte das madeiras, foi realizada a medição da umidade dos blocos de madeira através de um xilohigrômetro de contato da Digisystem, modelo DUC 2050. Optou-se pelo xilohigrômetro de contato, em relação ao medidor de umidade com pinos, por que ao cravar os pinos de medição de umidade na madeira, esse furos podem interferir na resistência dos CP durante a realização dos ensaios.

Após a furação, foi aplicado um jato de ar comprimido de forma a remover partículas de pó de serra que pudessem comprometer a adesão do adesivo à superfície da madeira. Em seguida, foi injetado adesivo no furo e procedeu-se à introdução da barra de forma rotacional, com o intuito de evitar a formação de bolhas de ar que pudessem reduzir a resistência da ligação. Foi respeitado o período de cura mínimo do adesivo de sete dias, informado pelo fabricante do produto. Após esse período, foi feito o levantamento fotográfico de todas as faces dos CPs com o intuito de catalogar possíveis interferências dos defeitos de crescimento, tais como nós firmes e bolsas de resina, de secagem da madeira e as inclinações das barras em relação às fibras (figura 4).



Figura 4. Medição da inclinação das barras.
Fonte: Autor



Figura 5. Ensaio de tração axial.
Fonte: Autor

Os ensaios das ligações decorreram entre os dias 20 e 25 de Maio de 2015, numa prensa universal Instron 1000 HDX, com célula de carga de 1000 kN (figura 5), sob uma velocidade constante de 50 N/seg. Com esta taxa de aplicação de carga foi possível obter durações totais de ensaios de 5 ± 2 minutos (entre o início do ensaio e o momento da ruptura total da ligação).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que a furação não foi perfeitamente paralela às fibras da madeira em todos os CPs, havendo uma variação do ângulo de 0° a $4,9^\circ$ entre a barra de aço e as fibras da madeira. As umidades médias da madeira variaram entre 16,0% a 18,6% (quadro 1). Verificou-se a presença de uma maior quantidade de defeitos da madeira para os CPs com maiores valores de esbeltez. As médias das forças de ruptura dos CPs estão presentes no quadro 2.

Quadro 1. Umidade média dos corpos de prova

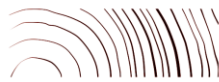
Série	Umidade média (%)	Série	Umidade média (%)	Umidade média do lote (%)
E1-x	17,3	E5-x	17,8	17,24
E2-x	16,7	E6-x	16,0	
E3-x	18,6	E7-x	16,5	
E4-x	17,4	E8-x	17,6	

Todos os CPs da série E1-x sofreram ruptura por cisalhamento da madeira (figura 2a), nas proximidades da interface com o adesivo. Foi verificado que o modo de ruptura das séries com esbeltez (λ) superior a 5 se deu pelo escoamento no aço (figura 2e). Através do quadro 2 é possível constatar que a força de ruptura se manteve constante durante o aumento da esbeltez, à exceção da série E1-x, na qual foi registrada uma força de ruptura inferior, coincidindo o fato do comportamento da ligação ter sido governado pela resistência ao cisalhamento da madeira.

Quadro 2. Forças médias de ruptura dos CP

Série	E1-x ($\lambda=5$)	E2-x ($\lambda=7,5$)	E3-x ($\lambda=10$)	E4-x ($\lambda=12,5$)	E5-x ($\lambda=15$)	E6-x ($\lambda=17,5$)	E7-x ($\lambda=20$)	E8-x ($\lambda=22,5$)
Forças médias de ruptura (kN)	14,99	16,93	17,34	15,28	16,71	17,36	18,50	17,11

Conforme apresentado na bibliografia, a força de ruptura da ligação aumenta com acréscimo de valores de esbeltez. Os resultados obtidos nos ensaios dos CPs desta pesquisa confirmam esta teoria apenas para os CPs com $\lambda=5$. A ruptura para CPs com $\lambda=7,5$ a $\lambda=22,5$ se deu na barra de aço e não na interface adesivo com a madeira. Os valores de ruptura deste universo de esbeltez variam de 15,28kN a 18,50kN. A ruptura na barra de aço com esforços solicitantes dentro deste universo de grandeza, demonstra que o acréscimo de esbeltez nas ligações, considerando o diâmetro de 6,3mm para uma seção comum de 3,5cm x 3,5cm de madeira para todos CPs, não proporcionou acréscimo de resistência das ligações, a medida que se aumentava o índice de esbeltez (λ) das ligações.



O rompimento das barras de aço dos CPs demonstra que o diâmetro da barra rosqueada adotada teve resistência menor do que a resistência da interface entre o adesivo e a madeira cuja ruptura, por sua vez, ocorre por cisalhamento.

Os defeitos de secagem, como pequenas rachaduras, e de formação da madeira, como os nós firmes, bolsas de resinas e medula, não influenciaram de forma que a ligação rompesse na interface adesivo/madeira ou como apresentado nas figuras 2b, 2c e 2d. A umidade dos CPs também não influenciou ruptura dos mesmos.

4. CONCLUSÃO

O aumento da esbeltez da ligação resultou no acréscimo de resistência mecânica, no entanto não foi possível determinar o modo em como este parâmetro geométrico influencia a capacidade de carga da ligação uma vez que as características mecânicas das barras condicionaram o modo de ruptura para valores de esbeltez superior a 5.

Não foram registradas influências significativas da variação dos ângulos entre as barras de aço e as fibras da madeira.

Os defeitos de crescimento e de secagem da madeira não tiveram papel significativo no modo de ruptura e resistência mecânica dos corpos de prova. A umidade também não contribuiu para a redução da resistência das ligações ensaiadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AICHER, S.; HÖFFLIN, L.; WOLF, M. Influence of specimen geometry on stress distributions in pull-out tests of glued-in steel rods in wood. OTTO-GRAF-JOURNAL, v. 9: p. 205-217, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

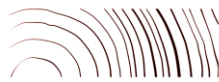
BENGTSSON, C.; KEMMSIES, M.; JOHANSSON, C. J. Production control methods for glued-in rods for timber structures. In: PROCEEDINGS OF THE 6TH WORLD CONFERENCE ON TIMBER ENGINEERING. Whistler, 2000.

BROUGHTON, J. G.; HUTCHINSON, A. R. Effect of timber moisture content on bonded-in rods. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, n. 15, p. 17-25, 2001a.

BROUGHTON, J. G.; HUTCHINSON, A. R. Pull-out behaviour of steel rods bonded into timber. MATERIALS AND STRUCTURES, v. 34, p. 100-109, 2001b.

BROUGHTON, J. G.; HUTCHINSON, A. R. Adhesive systems for structural connections in timber. INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES, n. 21, p. 177-186, 2001c.

BUCHANAN, A.; DENG, X. Strength of steel rods in glulam timber. In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WOOD CONFERENCE. New Orleans, 1996.



CHANS, D. O. et al. Influence of timber density on the axial strength of joints made with glued-in steel rods: An experimental approach. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, v. 30, p. 380-385, 2010.

CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Glued in joints in hardwood timber. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, v. 28, p. 457-463, 2008.

CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Glued in joints in hardwood timber. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, v. 28, p. 457-463, 2008.

CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Influence of the geometric and material characteristics on the strength of glued joints made in chestnut timber. *MATERIALS AND DESIGN*, v. 30, p. 1325-1332, 2009.

CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Orientation of bars glued on glued laminated products: Parallel vs perpendicular. *COMPOSITES: PART B*, v. 62, p. 97-103, 2014.

CHANS, D. O.; CIMADEVILA, J. E.; GUTIÉRREZ, E. M. Withdrawal strength of threaded steel rods glued with epoxy in wood. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, v. 44, p. 115-121, 2013.

CUSTÓDIO, J.; BROUGHTON, J.; CRUZ, H. Rehabilitation of timber structures – Preparation and environmental service condition effects on the bulk performance of epoxy adhesives. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, n. 25, p. 3570-3582, 2011.

DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau. Berlin: DIN, 2008.

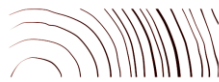
FAYE, C. et al. French data concerning glued-in rods. In: *PROCEEDINGS OF THE 37TH CONFERENCE OF CIB-W18 – TIMBER STRUCTURES OF THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*. Edinburgh, 2004.

GUSTAFSSON, P.; SERRANO, E. Glued-in rods for timber structures – development of a calculation model. Report TVSM – 3056. Lund: Lund University, 2001.

LARTIGAU, J. et al. Effect of temperature on the mechanical performance of glued-in rods. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 57, p. 79-84, 2015.

MADHOUSHI, M.; ANSELL, M. P. Experimental study of static and fatigue strengths of pultruded GFRP rods bonded into LVL and glulam. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, n. 24, p. 319-325, 2004.

MARTÍN, E.; ESTÉVEZ, J.; OTERO, D. Influence of geometric and mechanical parameters on stress states caused by threaded rods glued in wood. *EUROPEAN JOURNAL OF WOOD PRODUCTION*, v. 71, p. 259-266, 2013.



PARIDA, G.; JOHANSSON, H.; FRAGIACOMO, M. Provisions for ductile behavior of timber-to-steel connections with multiple glued-in rods. *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, v. 139, p. 1468-1477, 2013.

PIGOZZO, J. C.; LAHR, F. A. R. Comparações das resistências de ancoragens de barras de aço, coladas com resina epóxi, submetidas a diferentes tratamentos superficiais e variações de umidades após as colagens, em vigas de eucalipto citriodora. In: X ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, São Pedro - SP. Anais do X Ebramem. São Pedro – SP, 2006a.

PIGOZZO, J. C.; LAHR, F. A. R. Avaliação da resistência de ancoragem de barras de aço coladas à 45°, em vigas roliças aturais de eucaliptus citriodora, tratadas com CCA. In: X Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2006, São Pedro - SP. *Anais do X Ebramem*. São Pedro – SP, 2006b.

SERRANO, E. Glued-in rods for timber structures – a 3D model and finite element parameter studies. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ADHESION AND ADHESIVES*, n. 21, p. 115-127, 2001a.

STEPINAC, M. et al. Comparison of design rules for glued-in rods and design rule proposal for implementation in European standards. In: *PROCEEDINGS OF THE MEETING 46 OF THE WORKING COMMISSION W18 – TIMBER STRUCTURES OF THE INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*. Vancouver, 2013.

TLUSTOCHOWICZ, G.; SERRANO, E.; STEIGER, R. State-of-the-art review on timber connections with glued-in steel rods. *MATERIALS AND STRUCTURES*, n. 44, p. 997–1020, 2011.

WIDMANN, R; STEIGER, R.; GEHRI, E. Pull-out strength of axially loaded steel rods bonded in glulam perpendicular to the grain. *MATERIALS AND STRUCTURES*, v. 40, p. 827-838, 2007.

YEBOAH, D.; GILBERT, S.; GILFILAN, R. The behaviour of moment-resisting timber joints using bonded steel rods. In: *PROCEEDINGS OF THE CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES (NOCMAT)*, Bath, 2009.