



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

AVALIAÇÃO DE EMENDAS POR ENTALHES MÚLTIPLOS REFORÇADAS COM FIBRAS DE VIDRO OU DE CARBONO EM PINUS TAEDA PARA MADEIRA LAMINADA COLADA

Cleide Beatriz Bourscheid¹

Rodrigo Terezo¹

João Laryan Borges Righez¹

Deyvis Waltrick Borges¹

Talitha Oliveira Rosa¹

Ângela Maria Stüpp²

Polliana D'Angelo Rios³

Alexsandro Bayestorff da Cunha¹

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina

² Centro de Ciências Agroveterinárias - Engenharia Florestal

³ Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

AVALIAÇÃO DE EMENDAS POR ENTALHES MÚLTIPLOS REFORÇADAS COM FIBRAS DE VIDRO OU DE CARBONO EM *PINUS TAEDA* PARA MADEIRA LAMINADA COLADA

Resumo: A emenda por entalhes múltiplos é, atualmente, a união de topo mais utilizada na fabricação da Madeira Laminada Colada (MLC). Considerando a influência destas uniões na rigidez e resistência final dos elementos estruturais em MLC, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a resistência à tração paralela às fibras da madeira de *Pinus taeda* com diferentes composições de reforços. Foram utilizadas duas geometrias e os reforços foram feitos com tecidos de fibra de vidro ou de carbono, colados com adesivo estrutural poliuretano. Os tratamentos empregados foram: “A-Vidro”, “A-Vidro2”, “A-Carbono”, “B-Vidro”, “B-Vidro2” e “B-Carbono”, sendo a letra A ou B, as geometrias e 2, o número de camadas de tecido de fibras. Para a análise dos resultados foi utilizado o teste de Scott Knott com 95% de confiabilidade. Os resultados mostram que as emendas por entalhes múltiplos, mesmo dentro dos referenciais normativos, diminuem significativamente (até 48,9% com relação à madeira maciça) a resistência à tração paralela às fibras, independentemente da geometria. Todos os tratamentos com aplicação de reforço foram superiores aos tratamentos com emendas não reforçadas, entretanto permanecem aquém à madeira maciça. Pôde-se concluir que a aplicação em duas camadas de reforço de fibras de vidro ou uma camada de carbono, concentrados na região das emendas por entalhes múltiplos, aumentam significativamente (até 71% com relação aos tratamentos Sem Reforço) a resistência à tração paralela as fibras. Conclui-se ainda que a densidade aparente ($\rho_{ap,m} = 0,49 \text{ g/cm}^3$) apresenta fraca correlação com a resistência à tração paralela às fibras.

Palavras-chave: finger-joint; reforço com fibras; geometria de emendas longitudinais; compósitos em madeira; madeira engenheirada.

EVALUATION OF FINGER-JOINTS REINFORCED WITH FIBERS OF GLASS OR CARBON IN *PINUS TAEDA* FOR GLULAM

Abstract: The finger-joint is currently the most used model of top jointing in the manufacture of Glued Laminated Timber (GLULAM). Considering the influence of these joints on the rigidity and final strength of the structural elements in GLULAM, the present research aims to evaluate the tensile strength parallel to the fibers of *Pinus taeda* wood with different reinforcement compositions. Two geometries were used and the reinforcements were made with fiberglass or carbon fiber fabrics glued with polyurethane structural adhesive. The treatments used were: A-Glass, A-Glass2, A-Carbon, B-Glass, B-Glass2 and B-Carbon, in which the letters A or B are the geometries and 2, the number of fiber fabric layers. For the analysis of results, the Scott Knott test with 95% reliability was used. The results shows that the finger-joints without reinforcement, even according the normative parameters, significantly reduces (up to 48.9% in relation to solid wood) the tensile strength parallel to the fibers, regardless of the geometry. All the treatments with reinforcement application were superior to the treatments of finger-joints without reinforcement, however they remain below the solid wood. It could be concluded that the reinforcement in two layers of fiberglass or a layer of carbon fiber, both concentrated in the finger-joints, increase significantly (up to 71% in relation to the unreinforced treatments) the tensile strength parallel to the fibers. It is also concluded that the apparent density ($\rho_{ap,m} = 0.49 \text{ g/cm}^3$) shows poor correlation with the tensile strength parallel to the fibers.

Keywords: Finger-joints; fiber reinforcement, finger-joints geometry; wood composites; engineered timber.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

As tecnologias da indústria de compósitos vêm sendo utilizadas com frequente crescimento pela engenharia e indústrias mecânicas. A introdução de novos materiais em conjunto com o conhecimento das técnicas faz com que esses produtos atinjam as propriedades desejadas em projeto e normas de desempenho. A madeira e os seus derivados estão entre os mais importantes materiais de construção e têm se tornado cada vez mais usuais sob a forma de produtos compósitos engenheirados (KHELIFA et al., 2015b).

A disponibilidade de peças maciças de grande porte é cada vez mais rara e cara, mesmo oriundas de plantios homogêneos certificados, muito comuns com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Além disso, estas peças maciças possuem o comportamento mecânico influenciado por defeitos como nós, fissuras e orientação das fibras. Estes defeitos são mais prejudiciais na zona de tração do que na zona de compressão, uma vez que a tensão sob eles tende a desenvolver fendas (KHELIFA et al., 2015b).

Para Segundinho et al. (2013) a Madeira Laminada Colada (MLC) apresenta vantagens em função da possibilidade de diminuição da influência desses defeitos por meio da laminação e de emendas coladas. Utilizada principalmente em estruturas de médio e grande porte, a MLC requer altos padrões de qualidade e precisão durante o processo de fabrico (MOLINA et al. 2016). É por meio desta técnica que são produzidos elementos estruturais com maior rigidez e resistência, embora a sua resistência à flexão, muitas vezes, continua limitada pela presença das emendas por entalhes múltiplos (*finger-joints*) nas zonas de concentração de tensões (GLIŠOVIĆ et al., 2015), e é por esse motivo que estas ligações desempenham papel fundamental no desempenho da MLC.

A união longitudinal das lâminas sempre foi um desafio no que se refere à qualidade da ligação devido à necessidade de elevada eficiência de transmissão das cargas. Neste sentido, a emenda por entalhes múltiplos é considerada o modelo de ligação longitudinal mais adequado para uso na construção de estruturas em MLC (KHELIFA et al., 2015a). Quando comparada a outros modelos de emendas longitudinais, esta apresenta propriedades melhores, tais como linearidade, estabilidade dimensional, comprimento ilimitado e intercambialidade com madeira sem emendas. As geometrias utilizadas para execução dos entalhes são um fator de forte influência no desempenho deste tipo de ligação, e a fim de assegurar desempenho adequado ao uso estrutural, são regidas por normas.

De maneira geral, a madeira apresenta maior resistência paralelamente às fibras. Portanto, desenvolver uma emenda longitudinal que seja capaz de resistir as tensões axiais melhor do que as atuais emendas múltiplas tem sido o objetivo de muitas pesquisas nos últimos anos (RAO et al., 2012; BUSTOS et al., 2003; VOLKMER et al., 2014; AMAYA, 2013; FINK & KOHLER, 2015; FRANKE et al., 2014; AICHER et al., 2012; AJDINAJ & HABIBI, 2013; HABIPI et al., 2016; IWAKIRI et al., 2013; BAYATKASHKOLI et al., 2012; KHELIFA et al., 2015a; KHELIFA et al., 2016).

Recentemente, compósitos formados com base em fibras de vidro e carbono associados a uma matriz polimérica têm sido utilizados para reforçar estruturas em madeira, tanto em regiões de ligações, como para aumentar a resistência e o Módulo de Elasticidade (E_w) das peças nas áreas mais solicitadas. As fibras comumente utilizadas nesse tipo de reforço são as de carbono e vidro, aliadas a matrizes que podem ser termoplásticas ou termoendurecíveis, dependendo do uso. Nos compósitos de reforço associados à madeira, as matrizes mais utilizadas têm sido a poliuretano, a fenólica e a epóxi (CRUZ et al., 2000; CERCHIARI, 2013; STERLEY et al. 2014). Segundo Raftery & Rodd (2015), as resinas epóxi, que são mais caras que os adesivos comumente utilizados na fabricação da MLC, são a primeira escolha de adesivo quando se trata de aplicação de

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





reforços em madeira. No entanto, a produção da MLC reforçada se tornaria significativamente mais rentável com a aplicação de um único adesivo em todo o sistema. Função esta, que viabiliza a análise de aplicação do reforço com fibras sobre a madeira apenas com o adesivo utilizado na produção.

Ademais, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos em função de avaliar a influência do comprimento do reforço em relação ao incremento em resistência, considerando apenas, de modo geral, a porcentagem de reforço aplicado em relação à seção transversal das peças estruturais. A possibilidade de aumentar a resistência da MLC com aplicação do reforço somente nas regiões de maior perda de resistência, como as emendas por entalhes múltiplos, pode vir a reduzir os custos de produção deste novo tipo de compósito (KHELIFA et al., 2015b).

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o desempenho de emendas por entalhes múltiplos, sem e com a aplicação de reforços de tecidos de fibras, visando o seu uso com o mesmo adesivo empregado na produção de elementos estruturais em MLC.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi utilizada madeira da espécie *Pinus taeda*, dois modelos de fresas de emendas por entalhes múltiplos e três diferentes composições dos reforços com tecidos de fibra de vidro ou fibra de carbono.

A Tabela 1 apresenta de forma resumida o delineamento experimental. Foram produzidos 90 corpos de prova de tração paralela às fibras variando em: duas geometrias; três composições de reforço com tecidos de fibras, (i) uma camada de tecido de fibras de carbono, (ii) uma camada de tecido de fibras de vidro e (iii) duas camadas de tecidos de fibras de vidro; e testemunhas, em madeira maciça e com emendas sem aplicação de reforço.

Tabela 1. Esquema de apresentação dos tratamentos

Emenda	Reforço	Número de corpos de prova
Geometria A	Vidro	10
	Vidro 2	10
	Carbono	9
	Sem Reforço	11
Geometria B	Vidro	10
	Vidro 2	10
	Carbono	10
	Sem Reforço	12
Maciça (sem emenda)	---	8
Total		90

Legenda: Vidro = Uma camada de tecido de fibras de vidro; Vidro 2 = Dupla camada de tecido de fibras de vidro; Carbono = uma camada de tecido de fibras de carbono.

2.1 Seleção e preparo das amostras

A madeira utilizada é de origem comercial, proveniente de florestas plantadas do planalto catarinense, com idade aproximada de 28 anos. As toras foram desdobradas em 55 tábuas, as quais foram selecionadas aleatoriamente, com dimensões de 300 cm x 20 cm x 2 cm, com teor de umidade em média de 18%, após secagem ao ar livre pelo período aproximado de 40 dias. Posteriormente, as amostras foram armazenadas em área coberta durante 120 dias no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), atingindo



teor de umidade médio de 15,89%. As amostras foram selecionadas de forma aleatória e eram isentas de defeitos. O lote de madeira possuía aproximadamente 1 m³.

2.2 Confeção dos corpos de prova

As tábuas de *Pinus taeda* foram serradas em 100 peças isentas de defeitos, com dimensões de 60 cm x 5 cm x 2 cm, sendo retiradas à 30 cm de distância das extremidades. Estas amostras foram fresadas com os entalhes múltiplos (Tabela 2), em máquina de alta rotação, e nas 24 h seguintes, foram coladas em prensa com pressão controlada. O controle de gramatura do adesivo a base de poliuretano reativo (PUR), foi realizado com a utilização de balança digital, na qual o recipiente foi pesado antes e depois da aplicação em cada emenda, seguindo a recomendação do fabricante de 200 g/m².

Tabela 2. Geometrias dos entalhes para cada tratamento

Geometria	Comprimento L_d (mm)	Largura da base t_d (mm)	Largura da ponta b_d (mm)	Grau de Enfraquecimento v_d (%)
A	21,8	6,7	1,5	22%
B	19,1	6,5	1,7	26%

As amostras permaneceram armazenadas por 72 h para a cura do adesivo PUR que se solidifica e não retorna à condição líquida. Após esse período, todas as peças foram serradas e aplainadas obtendo-se dimensões finais aproximadas de 45,0 cm x 4,9 cm x 1,8 cm.

O processo de prensagem das peças foi realizado de duas formas: (i) com prensa hidráulica automatizada em pátio fabril; e (ii) com prensa manual em laboratório, monitorado com sistema de aquisição de dados da HBM, modelo MX440A®, softwares Catman Easy® e Quantum X®, com célula de carga U10M® com capacidade de 125 kN.

A pressão de colagem no sistema de prensagem hidráulica utilizado foi em média de 4,4 MPa. Já no sistema manual em laboratório, a pressão de colagem para cada corpo de prova, foi em média, de 4,6 MPa. Estes valores estão abaixo do recomendado pelo projeto de revisão da NBR 7190/2011. Porém, salienta-se que estes foram determinados por meio de ensaios preliminares, nos quais foi observada a ruptura das emendas quando utilizadas pressões superiores a estes valores.

Ao final, as peças foram usinadas em marcenaria para atenderem as dimensões do corpo de prova de tração paralela às fibras conforme sugere o anexo B da NBR 7190/1997.

2.3 Aplicação dos reforços nos corpos de prova

Na área central do corpo de prova de tração paralela às fibras, região em que se encontra a emenda por entalhe múltiplo, foi aplicado o mesmo adesivo PUR com gramatura controlada e recomendada pelo fabricante. Acima do adesivo foi posicionado o reforço em fibra e posteriormente realizado o processo de desaeração. Em seguida, foi aplicado novamente o adesivo sendo estes prensados manualmente com o controle de pressão empregando-se o mesmo sistema de aquisição de dados da HBM. Este processo foi realizado em ambas as faces do corpo de prova e a pressão de colagem foi de 16 MPa. A aplicação dos reforços ocorreu, em no máximo, 24h após a usinagem dos corpos de prova, seguindo as mesmas recomendações de colagem do fabrico da MLC.

Os tecidos de fibras sintéticas utilizados como reforço foram: (i) o tecido bidirecional de fibra de vidro, do tipo tela 1 x 1, com 5 x 5 fios/cm, 200 g/m² de densidade e 0,18 mm de espessura; e (ii) o tecido bidirecional de fibra de carbono, do tipo sarja 2 x 2, com 5 x 5



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

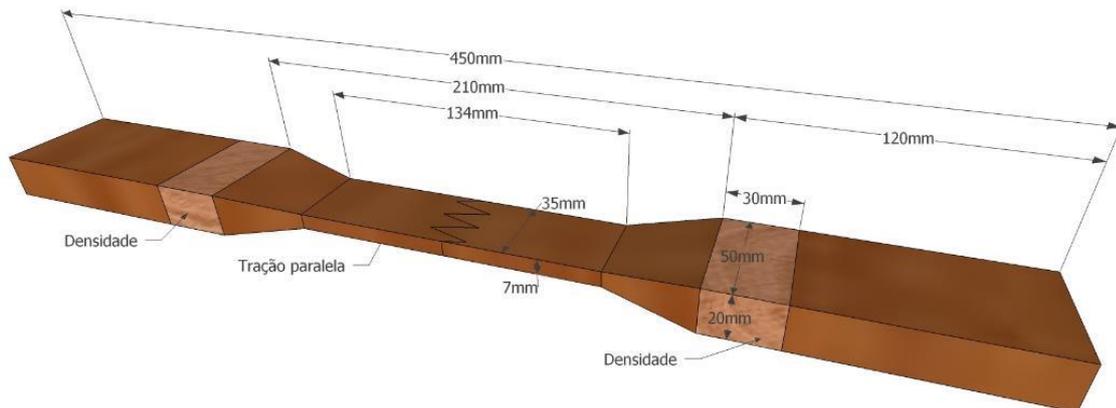
fiões/cm, 200 g/m² de densidade e 0,40 mm de espessura. O comprimento da fibra a ser aplicada foi na proporção de 4:1, sendo 4 unidades de comprimento de fibra para cada unidade de área da seção transversal do entalhe. Essa metodologia foi adotada após execução de ensaios preliminares, visando diminuir a ocorrência de rupturas por cisalhamento na ligação fibra/madeira.

2.4 Ensaios de avaliação tecnológica

As análises tecnológicas realizadas foram com base nos ensaios de tração paralela às fibras, densidade, teor de umidade e modos de ruptura.

O ensaio de tração paralela às fibras, para a determinação da resistência, foi executado em Máquina Universal de Ensaios, modelo EMIC DL 30000, com velocidade de carregamento monotônica crescente a uma taxa de 10 MPa/min. Os corpos de prova para a determinação da densidade e teor de umidade da madeira foram retirados dos corpos de prova de tração paralela às fibras após o ensaio, isentos de defeitos, conforme mostra a Figura 1, sendo assim, possível estabelecer uma correlação direta entre as propriedades estudadas.

Figura 1. Esquema para extração dos corpos de prova de densidade



Os procedimentos para obtenção das densidades básica, aparente e teor de umidade da madeira consistiram na mensuração e pesagem dos corpos de prova em três momentos: (i) após o ensaio de tração paralela às fibras, (ii) saturados e (iii) à 0% de umidade.

Foi realizada também a análise dos modos de ruptura das peças submetidas ao ensaio de tração paralela às fibras, pela norma ASTM D 4688 – *Standard Test Method for Evaluating Structural Adhesives for Finger Jointing Lumber* (1999), que sugere seis modos de ruptura.

2.5 Tratamento estatístico

Os testes estatísticos empregados foram os: de Grubbs para valores espúrios, de normalidade dos resíduos por Kolmogorov-Smirnov, de homogeneidade das variâncias por Bartlett, de análise de variância ANOVA, e de comparação entre médias por Scott Knott, sendo todos com 95% de confiabilidade. Também foi realizada análise de regressão a fim de determinar o grau de correlação entre a densidade e a resistência à tração paralela às fibras.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Tração paralela às fibras

Realizando análise de desempenho das geometrias sem aplicação de reforço com relação ao desempenho da madeira maciça foi observada diferença significativa, como é possível observar na Tabela 3.

Tabela 3. Desempenho das geometrias sem reforço com relação à madeira maciça

Tratamento	$f_{t,0m}$ (MPa)*	Desvio Padrão (MPa)	Taxa de Eficiência (%)	Coefficiente de Variação (%)
Maciça	73,79 a	16,01	100	21,70
B	39,68 b	8,37	53,7	21,09
A	37,72 b	6,12	51,1	16,22

Legenda: $f_{t,0m}$ = resistência média à tração paralela às fibras a 12% de umidade; * Médias seguidas de letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

Raftery & Harte (2013), estudando a espécie Irish-Grown Sitka Spruce, chegaram a uma resistência máxima à tração paralela de 104 MPa para corpos de prova maciços e de 45 MPa para os corpos de prova com emendas por entalhes múltiplos. Isso significa uma eficiência de apenas 43,3% com relação à madeira maciça. Já para os resultados encontrados neste estudo, para ambas as geometrias apresentaram taxas de eficiência superiores ao apresentado pelos autores, com uma eficiência média de 51,1% para a geometria A e 53,7% para a geometria B.

Os principais fatores de influência foram controlados durante o processo de execução das emendas, conforme supracitado, ainda assim as geometrias não obtiveram desempenhos adequados considerando os padrões normativos.

A segunda análise, executada entre os valores obtidos nas emendas com reforços, a madeira maciça e emendas sem reforço, tem seus resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Desempenho de acordo com os tratamentos

Tratamento	$f_{t,0}$ - Média (MPa)*	Desvio Padrão (MPa)	Taxa de Eficiência (%)	Coefficiente de Variação (%)
Maciça	73,80 a	16,01	100	22
A - Carbono	64,52 b	7,09	87,4	11
A - Vidro 2	63,15 b	7,08	85,6	11
B - Vidro 2	63,10 b	5,45	85,5	9
B - Carbono	61,24 b	14,72	82,9	24
B - Vidro	57,61 b	10,42	78,1	18
A - Vidro	50,00 c	4,07	67,7	8
B - Sem reforço	39,68 d	8,37	53,7	21
A - Sem reforço	37,73 d	6,12	51,1	16

Legenda: * Médias seguidas de letras iguais não diferenciam entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$); $f_{t,0}$ = Resistência à tração; Vidro = Uma camada de tecido de fibras de vidro; Vidro2 = Dupla camada de tecido de fibras de vidro; Carbono = Uma camada de tecido de fibras de carbono; A = Geometria A; B = Geometria B.

A madeira de *Pinus taeda* teve perda de resistência de 48,9 e 46,2% nos tratamentos com as geometrias A e B não reforçadas, respectivamente, comparadas à madeira maciça. Pereira *et al.* (2016), em estudo que avaliou emendas por entalhes múltiplos de 21 mm de comprimento e não reforçadas utilizando madeira de um híbrido de



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Eucalyptus grandis com *Eucalyptus urophylla*, encontraram médias de 50,73 MPa para corpos de prova sem emendas e 24,21 MPa para corpos de prova com a emenda, chegando a uma eficiência de 47,7% em relação a madeira maciça, desempenho semelhante aos tratamentos sem reforço aplicados neste trabalho.

Os resultados mostram que a aplicação de reforço é significativamente eficiente nos tratamentos. Todos os tratamentos com aplicação de reforço apresentaram melhor desempenho quanto a resistência a tração paralela às fibras em relação aos tratamentos sem aplicação de reforço.

As amostras de madeira maciça analisadas neste trabalho possuem valores de resistência a tração paralela às fibras próximos ao apresentado pela NBR 7190/97, em que o *Pinus taeda* apresenta resistência média à tração paralela de 82,8 MPa e superiores à encontrada por Stüpp (2016), de 44,48 MPa. Stüpp (2016), ainda, analisando o desempenho de duas geometrias de emendas por entalhes múltiplos semelhantes às utilizadas neste trabalho, coladas com poliuretano e sem reforço, em *Pinus taeda*, obteve resistências médias de 26,68 para um comprimento de entalhe médio de 21,08 mm e de 17,98 MPa para um comprimento de entalhe médio de 19,40 mm. Resistências médias inferiores às obtidas neste trabalho, o que indica um bom desempenho das emendas sem a aplicação do reforço.

Amaya (2013), estudando um híbrido de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla* com emendas por entalhes múltiplos de 28 mm de comprimento em três tratamentos, (i) sem reforço, (ii) reforçada com uma camada tecido de fibra de vidro e (iii) reforçada com quatro camadas de tecido de sisal, obteve resistências médias de 52, 82 e 87 MPa, respectivamente. Estes resultados mostram a efetividade da utilização do reforço como forma de aumentar a eficiência da ligação longitudinal nos corpos de prova, chegando a um incremento de até 67% na resistência à tração no tratamento de reforço com sisal. Esse incremento foi semelhante ao encontrado no presente trabalho com *Pinus taeda*, sendo que o tratamento com melhor desempenho (“A – Carbono”) chegou a um incremento de 71% na resistência média à tração paralela da emenda.

Os modos de ruptura foram classificados de acordo com as recomendações da ASTM D 4688, pela contagem do número de ocorrências, e estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Modos de ruptura de acordo com a ASTM D 4688 (1999)

Tratamento						
A – Vidro	-	1	4	3	1	1
A – Vidro 2	-	2	1	2	1	4
A – Carbono	-	-	3	2	-	4
A – Sem reforço	-	-	4	5	1	-
B – Vidro	-	-	3	5	-	2
B – Vidro 2	-	-	1	3	1	5
B – Carbono	-	-	1	1	1	6
B – Sem reforço	-	-	3	8	1	-
Total geometria A	0	3	12	12	3	9
Total geometria B	0	0	8	17	3	13
Total <i>Pinus taeda</i>	0 (0)	3 (4%)	20 (25%)	29 (36%)	6 (7%)	22 (28%)

Legenda: A = Geometria A; B = Geometria B; Carbono = Uma camada de tecido de fibras de carbono; Vidro = Uma camada de tecido de fibras de vidro; Vidro 2 = Dupla camada de tecido de fibras de vidro; % = frequência relativa.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

Segundo Habipi & Ajdinaj (2015), peças unidas por entalhes múltiplos produzidas com espécies de menor densidade tendem a falhar na madeira, enquanto as de alta densidade rompem nas emendas, onde a resistência da linha de cola é o fator mais relevante. Considerando que a densidade básica (ρ_{bas}) média do *Pinus taeda* foi de 0,40 g/cm³, o comportamento observado apresentou conformidade com o descrito pelos autores.

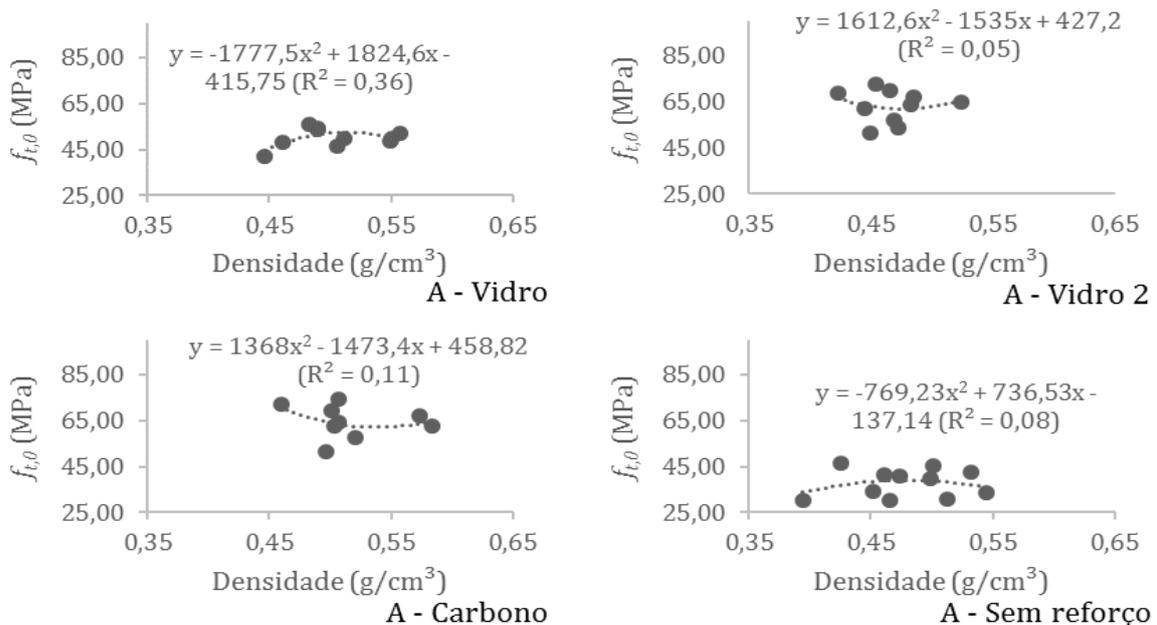
Stüpp (2016), em estudo que avaliou o desempenho de duas geometrias de emendas semelhantes às utilizadas neste trabalho, coladas com poliuretano e sem reforço, em *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, obteve maior frequência no modo de ruptura IV, para ambas as espécies e geometrias. Bustos *et al.* (2003), avaliando pressões de colagem e tempo de cura em emendas por entalhes múltiplos com madeira de *Picea mariana*, obtiveram 80% das rupturas nos modos III e IV, frequência superior à atingida nesta pesquisa. Desta forma, o aumento da frequência das rupturas na madeira (modo VI) nos tratamentos com aplicação de reforço indica uma melhora efetiva no desempenho das emendas longitudinais reforçadas, relativas também à gramatura do adesivo e pressão de colagem.

3.2 Densidade

O teor de umidade médio do lote de madeira avaliada foi de 15,89%. As densidades básica (ρ_{bas}) e aparente (ρ_{ap}) foram de 0,40 e 0,49 g/cm³, respectivamente. Segundo Ajdinaj & Habipi (2015), a MLC pode ser feita com madeiras de dicotiledôneas ou coníferas, que possuam baixa densidade (já que estas quando menores que 0,7 g/cm³ aparentam ter um melhor comportamento, por terem maior facilidade na colagem e, portanto, maior penetração do adesivo) e umidade no máximo de 18% (NBR 7190-97), indicando conformidade das propriedades físicas básicas para uso em MLC.

As análises de correlação entre a resistência à tração e a densidade aparente do material avaliado é apresentada graficamente nas Figura 2.

Figura 2. Correlação entre a resistência à tração paralela e densidade por tratamento (continua)



REALIZAÇÃO



APOIO

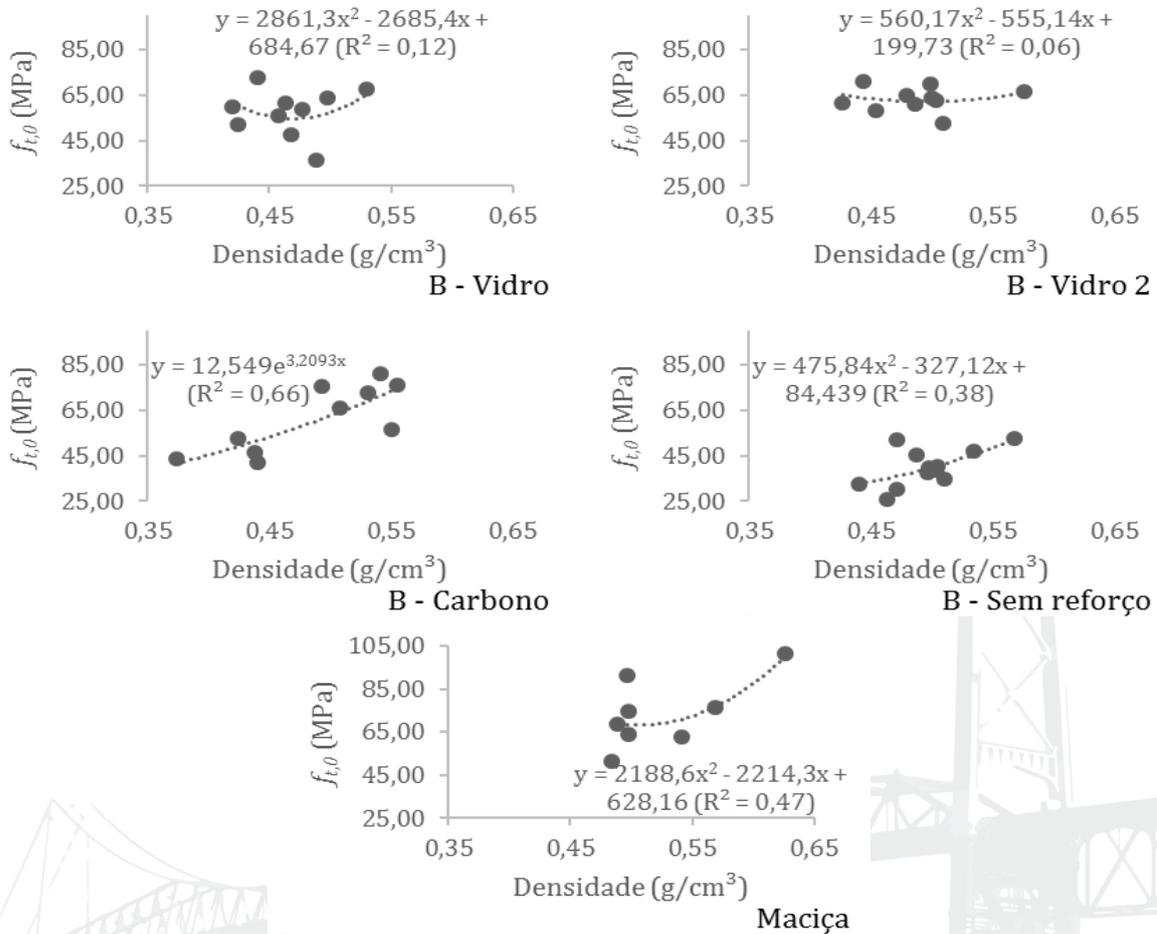


ORGANIZAÇÃO





Figura 2. Correlação entre a resistência à tração paralela e densidade por tratamento (final)



Observando as nuvens de distribuição e valores de r^2 para cada tratamento não é possível identificar um padrão de comportamento, nem mesmo para a madeira maciça, que assim como os tratamentos “A – Sem reforço” e “B – Sem reforço”, apresentou fator de correlação fraco. Christoforo *et al.* (2013), encontraram correlação moderada entre a densidade e a resistência à tração estudando madeira maciça das espécies *Ocotea* sp. ($r^2 = 0,74$), *Xylopi* sp. ($r^2 = 0,66$), *Micropholis venulosai* ($r^2 = 0,75$), *Vochysia* sp. ($r^2 = 0,79$) e *Protium* sp ($r^2 = 0,61$), constatando que a densidade influencia nas propriedades mecânicas, aumentando os valores das propriedades mecânicas conforme elevava-se a densidade. Esta tendência crescente de incremento da resistência à tração paralela às fibras conforme aumento da densidade média também é encontrada na literatura para madeira com emendas longitudinais, como Vrazel & Sellers (2004), que encontraram uma resistência à tração média de 63,76 MPa para o *Dipterocarpus* spp. ($\rho_{bas} = 0,78$) e de 55,99 e 54,64 MPa para as espécies *Pinus* spp. ($\rho_{bas} = 0,58$) e *Pseudosuga menziesii* ($\rho_{bas} = 0,55$) em emendas coladas com PUR. Todavia, para Pereira *et al.* (2016), tratando de emendas longitudinais, este desempenho pode ser influenciado por outras características naturais ou anatômicas da madeira de tal forma que não é possível concluir que esta relação seja uma regra para todas as espécies. Considerando que a presença dos reforços sobre as ligações atue como um novo fator de variação, somada ao baixo desempenho das emendas não reforçadas, os fracos coeficientes de correlação e a falta de um padrão de comportamento eram esperados.



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

4. CONCLUSÕES

Por meio das análises realizadas neste experimento foi possível concluir que a resistência das emendas por entalhes múltiplos não reforçadas foi significativamente inferior à da madeira maciça, independentemente da geometria utilizada.

O desempenho em relação aos tratamentos aplicados apresentou diferença significativa, sendo que a execução das emendas sem aplicação de reforço teve baixas taxas de eficiência para espécie avaliada. Todos os tratamentos com aplicação de algum tipo de reforço apresentaram-se superiores aos com emendas não reforçadas, bem como inferiores à madeira maciça. Todavia, o acréscimo em resistência com a aplicação dos reforços foi evidente, alcançando um incremento máximo com relação às emendas não reforçadas de 71% com reforço de tecidos de fibras de carbono para a geometria A.

5. AGRADECIMENTOS

A FAPESC e CAPES pela concessão de auxílio financeiro para realização deste trabalho. Às empresas IRCAL Madeireira Ltda. e Righez Madeiras Ltda. pela doação da matéria prima e disponibilidade de estrutura fabril. A WL MADEIRAS e ao Sr. Acácio Furtado que gentilmente auxiliaram no processo de usinagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR - 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 107p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Revisão NBR - 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 50p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D4688 - 99** (reapproved 2005) Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 2005. 10p.

AJDINAJ, D.; HABIBI, B. **The effect of joint slope on bending strength of finger joint connection – case of poplar wood (*Populus alba* L.)**. IN: 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, Epoka University, Tirana, Albania. 2013.

AMAYA, L. M. C. **Reforço de emendas dentadas com compósitos de fibras em peças de madeira**. 2013. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2013.

BAYATKASHKOLI, A.; SHAMSIAN, M.; MANSOURFARD, M. The effect of number of joints on bending properties of laminated lumber made from poplar (*Populus nigra*). **Forestry Studies in China**, v. 14, n. 3, p. 246-250, 2012.

BUSTOS, C. *et al.* Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-joined black spruce lumber. **Forest products journal**, v. 53, n. 11/12, p. 85, 2003.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

CERCHIARI, A. M. F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de *Cupressus lusitanica*, *Corymbia maculata* e *Hevea brasiliensis***. Dissertação. Universidade de São Paulo. 2013.

CHRISTOFORO, A. L. *et al.* Characterization of tropical wood species for use in civil constructions. **Journal of Civil Engineering Research**, v. 3, n. 3, p. 98-103, 2013.

CRUZ, H. *et al.* Reforço local de elementos estruturais de madeira por meio de compósitos. In: **Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas**, Anais. p. 825-834, 2000.

FINK, G.; KOHLER, J. Probabilistic modelling of the tensile related material properties of timber boards and finger joint connections. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 73, n. 3, p. 335-346, 2015.

FRANKE, B.; SCHUSSER, A.; MÜLLER, A. Analysis of finger joints from beech wood. **World conference on timber engineering – WCTE**. Quebec, 2014.

HABIPI, B.; AJDINAJ, D. **Wood finger-joint strength as function of finger length and slope positioning of tips**. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS). Vol.2. 2015.

HABIPI, B.; ÇOTA, H.; KODRA, A. The effect of fingers tips position on tensile strength of finger joint connection. **Journal of international academic research for multidisciplinary**. Vol. 4. Issue 1. 2016.

IWAKIRI S. *et al.* Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 411-416, 2013.

KHELIFA, M. *et al.* Experimental and numerical analysis of CFRP-strengthened finger-jointed timber beams. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 68, p. 283-297, 2016.

KHELIFA, M.; LAHOUAR, M. A.; CELZARD, A. Flexural strengthening of finger-jointed Spruce timber beams with CFRP. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 29, n. 19, p. 2104-2116, 2015a.

KHELIFA, M. *et al.* Finite element analysis of flexural strengthening of timber beams with Carbon Fibre-Reinforced Polymers. **Engineering Structures**, v. 101, p. 364-375, 2015b.

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. Tensile strength of finger joints made of *Manilkara huberi* wood for use in glued laminated timber. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 221-227, 2016.

PEREIRA, M. C. de M. *et al.* Evaluation of Tensile Strength of a *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla* Hybrid in Wood Beams Bonded Together by Means of Finger Joints and Polyurethane-Based Glue. **Materials Research**, v. 19, n. 6, p. 1270-1275, 2016.

RAFTERY, G. M.; HARTE, A. M. Nonlinear numerical modelling of FRP reinforced glued laminated timber. **Composites Part B: Engineering**, v. 52, p. 40-50, 2013.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RAFTERY, G. M.; RODD, P. D. FRP reinforcement of low-grade glulam timber bonded with wood adhesive. **Construction and Building Materials**, v. 91, p. 116-125, 2015.

RAO, S. et al. Effect of geometric parameters of finger joint profile on ultimate tensile strength of single finger-jointed boards. **Wood and Fiber Science**, v. 44, n. 3, p. 263-270, 2012.

SEGUNDINHO, P. G. de A. *et al.* Evaluation of glued laminated timber beams of cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.). **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013.

STERLEY, M., *et al.* Finger Jointing of Freshly Sawn Norway Spruce Side Boards—A Comparative Study of Fracture Properties of Joints Glued with Phenol-Resorcinol and One-Component Polyurethane Adhesive. In: **Materials and Joints in Timber Structures**. Springer Netherlands, 2014. p. 325-339.

STÜPP, Â. M. **Otimização do processo de ligação por emendas de entalhes múltiplos para estruturas em madeira laminada colada**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2016.

VRAZEL, M.; SELLERS JR, T. The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 3, p. 67, 2004.

VOLKMER, T.; FRANKE, B.; SCHUSSER, A. Analysis of the penetration of adhesives at finger-joints in beech wood. In: **World Conference on Timber Engineering, Quebec**. 2014.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

