

QUALIDADE DA ADESÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO EM CORPOS-DE-PROVA COLADOS EM DOIS DIFERENTES PLANOS E DENSIDADES

Moisés Silveira Lobão¹, Adriana Gomes²

(recebido: 23 de junho de 2005; aceito: 27 de abril de 2006)

RESUMO: Com o trabalho objetivou-se avaliar a qualidade de adesão da madeira em dois diferentes planos e com madeiras de diferentes densidades, de acordo com a norma NBR/7190/97. Para isto, obteve-se um lote de madeira de eucalipto adquirida no mercado local, seca em estufa. Realizou-se primeiramente uma pré-seleção do lote, segregando-o em dois sub-lotes, um de maior densidade e outro de menor densidade. Posteriormente, testou-se a eficiência da adesão da madeira em dois diferentes planos, paralelo e perpendicular às fibras, e com madeiras de diferentes densidades: alta colada à de alta, baixa com a de baixa e alta colada a de baixa, utilizando-se o adesivo comercial resorcinol-formaldeído. Determinou-se a resistência ao cisalhamento longitudinal de corpos-de-prova, bem como se avaliou a porcentagem de falha na madeira dessas amostras. Quanto aos resultados, verificou-se que não houve diferença significativa entre os valores de resistência obtidos nos corpos-de-prova sólidos e da junta colada no plano paralelo, de madeira de baixa densidade. Quanto ao sentido das fibras concluiu-se que o tratamento mais eficiente foi o colado paralelamente às fibras.

Palavras-chave: Madeira, eucalipto, adesão.

QUALITY OF GRUE-BOND EUCALYPTUS WOOD SPECIMEN GLUED IN TWO DIFFERENT DENSITIES AND SHEAR PLANES

ABSTRACT: *This work evaluate a glue-bond quality was also determined according to NBR 7190/97 in samples representing the two different densities and the shear planes. Eucalyptus lumber was purchased in the local market for the research purpose. It was found, that the whole lot could be segregated into two sub-lots, one containing higher specific gravity timber, another containing lower density wood, later, in samples made to represent the two different densities; the shear planes, however, included two possibilities: the two pieces that formed the block had their fibers both parallel or one of the parts had their fibers perpendicular to those of the other part. The adhesive used was resorcinol-formaldehyde. Shear strength was determined by compression using these blocks; the percentage of wood failure was also measured. It was found that the low density wood glued better, because the average shear strength of the blocks with fibers of the parts parallel to the direction of the force did not differ from the shear strength of solid wood. It was found the behavior of shear planes follows that of the samples made with fibers of the parts parallel to the shearing force.*

Key words: Lumber, eucalyptus, glue-bond.

1 INTRODUÇÃO

A madeira laminada colada é um componente estrutural, constituído por uma associação de laminas de madeira selecionadas, coladas com adesivo à prova d'água, e sob pressão variável de 0,7 a 1,5 MPa. As lâminas são coladas em direções paralelas quanto à disposição de suas fibras, suas espessuras variam de 1,5 a 3 cm, podendo atingir até 5 cm, estas podem ser emendadas por juntas em bisel ou dentadas nas situações em que é necessário vencer grandes vãos (PFEIL & PFEIL, 2003).

A maior vantagem da madeira colada é que

se pode aproveitar uma grande quantidade de madeira de pequenas dimensões para serem usadas como parte de laminações de vigas estruturais. Outro fator importante é que madeiras de variadas classes de resistência podem ser usadas nas vigas de forma que as peças com maiores resistências componham as partes mais externas e as de menor resistência a região interna da viga. Pode-se também variar a espécie de madeira na estrutura, de acordo com a solicitação de resistência das laminações em cada região da viga. (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

¹Professor do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Acre – 69.915-900 – Rio Branco, AC – Moiseslobao@hotmail.com

²Mestranda do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras/UFLA – Cx. P. 3037 – 37.200-000 – Lavras, MG – agomes@ufv.br

A madeira laminada colada deve ser fabricada por rígidos padrões de controle de qualidade, para que a mesma tenha alta resistência e durabilidade, resultando num material mais homogêneo que a madeira serrada. As especificações estipulam resistência a cisalhamento na linha de cola, e que os valores variam conforme as espécies vegetais e a umidade da madeira na ocasião da colagem (PFEIL & PFEIL, 2003).

A madeira no meio técnico é normalmente considerada um material fácil de colar, pois permite o desenvolvimento de linha de cola eficaz. A razão de considerar madeira de alta densidade de difícil adesão pode ser explicada num desses aspectos, pois uma madeira mais dura apresenta uma menor penetração da cola, bem como uma perda maior da cola pelas bordas da peça a ser colada, ocasionando uma linha de cola menos eficaz (BRADY & KAMKE, 1988).

Marra (1992) e Tsoumis (1991) afirmaram que as madeiras de alta densidade são de difícil colagem pela pouca penetração do adesivo, diminuindo a possibilidade de um bom desenvolvimento de uma linha de cola, ocasionando, portanto, uma junta de má qualidade.

A *American Society for Testing and Materials* define um adesivo como uma substância capaz de unir materiais através do contato entre suas superfícies. As condições físicas e químicas da superfície durante a adesão são extremamente importantes para que ela tenha um desempenho satisfatório, uma vez que o adesivo líquido tem que umedecer e se espalhar livremente nas superfícies para que se estabeleça um contato íntimo entre elas (ASTM, 1994).

A função de um adesivo, além de aderir dois substratos, é fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo assim, a distância entre elas, gerando interações entre o próprio adesivo e o substrato (PIZZI, 1994). O mesmo autor, relatou ainda, que uma superfície rugosa pode aumentar a adesão entre as juntas coladas. Tsoumis (1991) relata também que pode haver a penetração do adesivo nas paredes celulares (entre as microfibrilas), permitindo assim, o engajamento mecânico em várias posições.

Para se testar o desempenho de um adesivo, deve-se submetê-lo a testes de carregamento

específico, como de cisalhamento na linha de cola, para avaliar a eficiência do adesivo na união das lâminas sob uma determinada temperatura e condições de umidade durante um tempo específico (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Com o presente trabalho, objetivou-se verificar a qualidade da adesão da madeira de *Eucalyptus* sp com o adesivo comercial resorcinol-formaldeído, variando-se a densidade e a direção das fibras da madeira.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se, neste trabalho, a madeira de *Eucalyptus* sp seca em estufa, adquirida no mercado local e aclimatizada em Viçosa-MG. Determinou-se o teor de umidade do lote por meio da diferença da massa inicial e massa seca de cada amostra submetida à secagem sob temperatura aproximada de $103^{\circ} \pm 2^{\circ} \text{C}$, como determinado pela Norma Brasileira de Projeto de Estruturas da Madeira (NBR 7190/97). A densidade aparente foi determinada, obtendo-se a massa e o volume dos corpos-de-prova com teor de umidade de aproximadamente 12 %.

Os ensaios das amostras foram realizados com o intuito de verificar a qualidade da adesão da madeira com o adesivo resorcinol-formaldeído, em que se variou a densidade e a direção das fibras das madeiras que eram constituídas por duas peças de madeira coladas, aplicando-se adesivo resorcinol-formaldeído nas duas faces, na proporção de 300 g/m² e sendo submetidas à pressão aproximada de 1MPa durante 8 horas. Na Figura 1, ilustra-se o formato e a disposição das fibras nos corpos-de-prova produzidos e ensaiados.

O teste foi conduzido segundo as variáveis que compreenderam, respectivamente, à resistência ao cisalhamento na madeira sólida ou na linha de cola da madeira colada, fibras paralelas ou perpendiculares entre si e se o corpo-de-prova era composto por madeira leve, pesada ou leve com pesada. Foram preparados, no mínimo, 12 corpos-de-prova de cada tratamento, totalizando um total de 124 corpos-de-prova ensaiados, que foram a submetidos a esforços cortantes até a sua ruptura para determinação de sua resistência ao cisalhamento (Tabela 1). Determinou-se a densidade e o teor de umidade mediante amostras testemunhas de cada uma das duas partes dos corpos-de-prova.

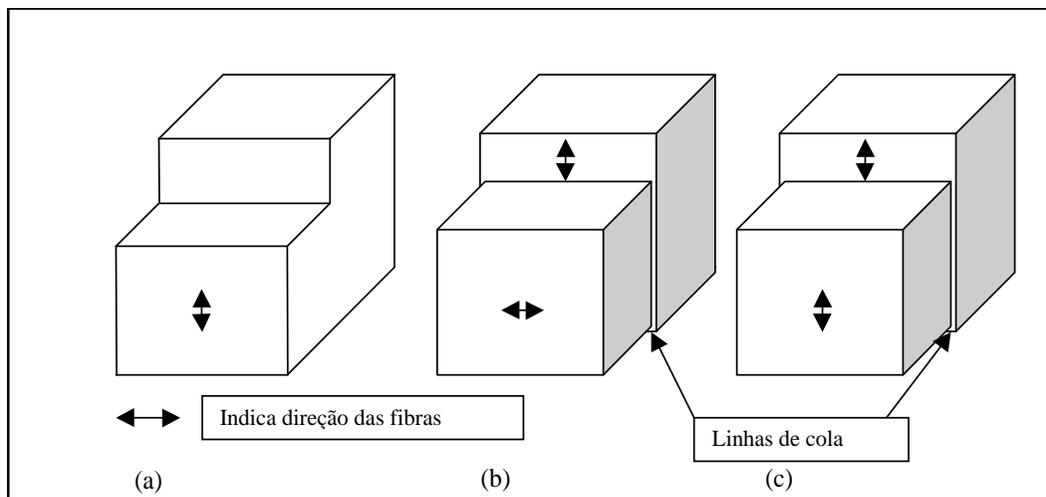


Figura 1 – Geometria e orientação das fibras nos corpos-de-prova de cisalhamento da madeira sólida e da colada, em que (a) madeira sólida, (b) madeira colada no plano perpendicular às fibras e (c) madeira colada no plano paralelo às fibras.

Figure 1 – Geometry and the fibers orientation of specimen of shear solid wood blocks and glued wood, where (a) solid wood, (b) glued wood in fibers both perpendicular and (c) glued wood in fibers both parallel.

Tabela 1 – Tipos de tratamentos dos testes de adesão da madeira em diferentes planos.

Table 1 – Type of treatments of the glued-bond trial of the different wood planes.

Resistência ao cisalhamento	Orientação das fibras e densidade	Número de repetições
Na madeira sólida	Paralela madeira leve	12
	Paralela madeira pesada	12
Na linha de Cola	Paralela madeira leve	12
	Paralela madeira pesada	15
	Paralela madeira leve com pesada	13
	Perpendicular madeira leve	21
	Perpendicular madeira pesada	18
	Perpendicular madeira leve com pesada	21

Após a ruptura, avaliou-se o percentual de falha na madeira das partes pertencentes a cada corpo-de-prova, utilizou-se uma série de lâminas transparente, previamente quadriculada, e com dimensões que atendessem a variabilidade observada para as dimensões dos corpos-de-prova. O quadriculado das lâminas dividiu o plano cisalhado em 25 partes, de modo que cada quadrícula representava 4% da área em análise. Considerou-se como falha na madeira a fratura profunda, com o arrancamento de partes de madeira, mas também a falha rasa, desde que com presença visível de fibras na superfície da ruptura. Para determinação do percentual médio de falha na madeira, os dados referentes a avaliação foram reunidos e submetidos posteriormente à análise estatística.

Depois da determinação dos valores médios em porcentagem de falhas na madeira. O desempenho da propriedade de resistência na linha de cola dos tratamentos foi avaliado por meio da análise de variância da resistência média apresentada. Já o percentual de falha na madeira foi avaliada exclusivamente pela média de falha apresentada. A resistência foi avaliada pelos critérios da norma NBR 7190/97, que estabelece que a resistência média das juntas coladas deve ser no mínimo igual a resistência característica da madeira ao cisalhamento, no teor de umidade padrão de 12%. Para isto, os resultados obtidos nos ensaios foram ajustados para a umidade, supra-citada, conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997), pela equação:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right]$$

em que, f_{12} = valor da resistência no teor de 12% de umidade; $f_{U\%}$ = valor da resistência encontrado no teor de umidade ensaiado; e $U\%$ = umidade do corpo-de-prova no momento do ensaio.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos tipos de tratamentos a que foram submetidos os corpos-de-prova, com os respectivos valores de resistência média à ruptura e os valores corrigidos para o teor de umidade de 12 %, bem como, a densidade média do lote e a média do percentual de falha na madeira, com os respectivos desvios padrão vem especificados na Tabela 2. Para

efeito de comparação, incluiu-se nessa tabela a resistência ao cisalhamento da madeira “sólida”.

Observa-se que os resultados de resistência à ruptura por cisalhamento das juntas coladas, variaram de acordo com cada tratamento. Há diferença sempre significativa ($p < 0,05$) entre os valores médios dos tratamentos em que foram solidarizadas madeiras coladas com as fibras nos sentidos perpendicular e paralelo ao esforço (7,9 vs. 3,3 MPa; 9,7 vs. 8,0 MPa; 5,6 vs. 3,2 MPa). Duas madeiras coladas com as fibras paralelas ao esforço não mostraram diferença significativa entre seus valores médios de resistência e a média da madeira sólida, para a classe de baixa densidade. Colar madeiras de densidades muito diferentes produziu juntas com resistência menor à da madeira menos densa e, portanto, não favoreceu o incremento da resistência desses corpos-de-prova. Nesses corpos-de-prova, a ruptura se deu sempre na madeira menos densa, como observado após os ensaios. A porcentagem de falha na madeira foram, em todos os casos, iguais ou superiores a 69 %. Esta elevada porcentagem de falha na madeira, indica a facilidade de adesão da madeira utilizada e corrobora nas discussões acima, isto é, que as diferenças observadas devem ser, de fato, atribuídas às diferenças de densidade ou de orientação das fibras e não à técnica de adesão. Para todas as espécies e posições, as elevadas porcentagens de falha na madeira indicam boa qualidade da adesão.

Os testes de médias (T-students) para amostras independentes, comparando-se as médias de resistência ao cisalhamento entre os tratamentos das juntas coladas e o quadro de análise de variância dos efeitos dos tratamentos de adesão estudados (direção das fibras paralela versus perpendicular) estão apresentados na Tabela 3.

O F tabelado equivale a 1,64 que é < que a razão entre as variâncias 1,707 (Tabela 4), portanto, as variâncias dos valores nos tratamentos de adesão das amostras com fibras paralelas diferem significativamente ($p < 0,05$) dos tratamentos de adesão das amostras com fibras perpendiculares.

Os resultados dos testes de cisalhamento na linha de cola servirão para subsidiar a eficiência da adesão de corpos de madeira com variação nas direções das fibras e nas densidades das peças de madeira, principalmente no que se refere à resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Analisando-se os resultados obtidos, verificou-se que o valor mais elevado de resistência foi o do tratamento do corpo colado com madeiras de alta densidade e com as fibras paralelas entre si, atingindo uma resistência média, corrigida para a umidade de 12 %, de 9,7 MPa, seguido dos tratamentos com madeiras de alta densidade coladas com as fibras perpendiculares entre si, atingindo uma resistência média, corrigida, de 8,0 MPa, e com

madeiras de baixa densidade coladas com as fibras paralelas entre si, que atingiram média de 7,9 MPa. Outro dado importante foi que o tratamento do corpo colado com madeiras de baixa densidade com fibras perpendiculares entre si e o constituído por madeira de alta e baixa densidade, com fibras também perpendiculares, atingiram praticamente a mesma resistência média de 3,2 e 3,3 MPa, respectivamente.

Tabela 2 – Valores médios da resistência ao cisalhamento das juntas coladas com respectivos desvios padrão e da percentagem de falha na madeira.

Table 2 – Experimental mean values and standard deviation of the shear strength of the glued joints and of the percentage of wood failure.

Resistência ao cisalhamento		Valor Médio (MPa)	Valor corrigido para U=12% (MPa)	Densidade Média da madeira no ensaio (kg/m ³)	Média da Falha na madeira (%)
Situação					
Madeira "sólida"	Baixa densidade	8,3 (0,96)	8,7	533	-
	Alta densidade	12,1(1,45)	12,2	809	-
Junta colada	Fibras paralelas Baixa densidade	7,7 (2,18)	7,9	582	84
	Fibras Paralelas Alta densidade	9,6 (2,33)	9,7	823	82
	Fibras Paralelas Baixa com Alta densidade	5,2 (2,80)	5,6	532	69
	Fibras Perpendiculares Baixa densidade	3,2 (1,05)	3,3	626	75
	Fibras Perpendiculares Alta densidade	7,7 (1,82)	8,0	759	71
	Fibras Perpendiculares Baixa com Alta densidade	3,1 (0,70)	3,2	554	75

Tabela 3 – Teste de médias T-students para amostras independentes nos tratamentos de adesão para verificação da resistência ao cisalhamento das juntas coladas.

Table 3 – T-students Mean tests of independent samples in the glue-bond treatments for shear strength of the glued joint.

Interação entre os tratamentos	Média 1	Média 2	t-valor	gl	p	N1	N2
PAR_AB vs. PERP_A	56,11091	80,42572	3,02386*	29	0,005181	13	18
PAR_AB vs. PER_AB	56,11091	32,40586	4,101696*	32	0,000263	13	21
PAR_AB vs. PERP_B	56,11091	33,33973	3,533696*	32	0,001271	13	21
PAR_AB vs. PAR_B	56,11091	78,68054	2,25738*	23	0,033784	13	12
PAR_AB vs. PAR_A	56,11091	96,51481	4,43602*	26	0,000149	13	15
PER_AB vs. PERP_A	32,40586	80,42572	11,2568*	37	0,000000	21	18
PER_AB vs. PERP_B	32,40586	33,33973	0,347015	40	0,730399	21	21
PER_AB vs. PAR_B	32,40586	78,68054	8,68598*	31	0,000000	21	12
PER_AB vs. PAR_A	32,40586	96,51481	12,8598*	34	0,000000	21	15
PERP_A vs. PERP_B	80,42572	33,33973	9,607632*	37	0,000000	18	21
PERP_A vs. PAR_B	80,42572	78,68054	0,223510	28	0,824761	18	12
PERP_A vs. PAR_A	80,42572	96,51481	2,25033*	31	0,031667	18	15
PERP_B vs. PAR_B	33,33973	78,68054	7,43384*	31	0,000000	21	12
PERP_B vs. PAR_A	33,33973	96,51481	11,1908*	34	0,000000	21	15
PAR_B vs. PAR_A	78,68054	96,51481	2,00715	25	0,055661	12	15

* Tcalc > Ttab, logo as médias diferem significativamente a 5% de probabilidade.

OBS: Variáveis foram tratadas como amostras independentes

Tratamentos das juntas coladas: PERP_A= Fibras perpendiculares e madeira de alta densidade; PER_AB= Fibras perpendiculares e madeira de alta com baixa densidade; PERP_B= Fibras perpendiculares e madeira de baixa densidade; PAR_AB= Fibras paralelas e madeira de alta com baixa densidade; PAR_B= Fibras paralelas e madeira de baixa densidade; PAR_A= Fibras paralelas e madeira de alta densidade.

Tabela 4 – Análise de variância dos efeitos dos tratamentos de adesão estudados (direção das fibras) para verificação da resistência ao cisalhamento das juntas coladas de eucalipto.

Table 4 – Variation analysis of the glue-bond treatments (fibers direction) for verification of the shear strength of the *Eucalyptus* glued joint.

FV	GL	SQ	QM	F-Razão	p
Coladas com fibras paralelas versus Coladas com fibras perpendiculares	28	26533.91	947.64	1,707	0.1758
Resíduo	11	6105.45	555,04		

4 CONCLUSÕES

Após a análise dos resultados obtidos em todos os testes e feitas suas comparações, conclui-se inicialmente que todos os tratamentos com corpos-de-prova colados submetidos ao cisalhamento com as fibras no sentido paralelo foram bastante satisfatórios se comparados com os resultados de cisalhamento na madeira encontrados por alguns autores: Oliveira (1997): *Eucalyptus grandis* – 7,5 MPa; e NBR 7190 (ABNT, 1997): *Eucalyptus grandis*: 7,0 Mpa.

Notou-se quanto ao critério de resistência que nas madeiras de menor densidade não houve diferença significativa entre os valores de resistência obtidos nos corpos-de-prova sólidos e da junta colada no plano paralelo. Já no caso das madeiras de maior densidade houve diferenças significativas entre os valores de resistência desses tratamentos.

Em parte, os resultados expostos acima podem ser explicados pelas exposições de vários autores citados neste artigo, afirmando que madeiras de alta densidade são de difícil colagem, por essas permitirem pouca penetração do adesivo, ocasionando assim, uma junta de qualidade inferior às obtidas com madeiras de densidades mais baixas. Entretanto, apesar das evidências, maiores estudos se fazem necessários, utilizando-se um maior número de corpos-de-prova, para subsidiar essa conclusão.

Quanto à direção das fibras, concluiu-se que o tratamento mais eficiente para a utilização de junta colada seria a de madeira solidarizada paralelamente às fibras.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of A.S.T.M. standards**. Philadelphia, 1994. 608 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.
- BRADY, D. A.; KAMKE, F. A. Effects of hot-pressing parameters on resin penetration. **Forest Production Journal**, [S.l.], v. 38, n. 11/12, p. 63-68, 1988.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook**: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1999. 463 p.
- MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.
- OLIVEIRA, J. T. de. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1997. 450 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- PFEIL, W. E.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224 p.
- PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.