

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES DE ADESÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Javan Pereira Motta^{1,a}, José Tarcísio da Silva Oliveira^{2,b}, Rejane Costa Alves^{3,c}

1 Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira do DCF/UFLA, Brasil

2 Professor Departamento de Ciências Florestais e da Madeira do CCA/UFES, Brasil

3 Doutoranda em Engenharia de Estruturas da UFMG, Brasil

ajavanpm@hotmail.com, bjtsilva@npd.ufes.br, crecosta_88@hotmail.com

RESUMO

A umidade da madeira é fator importante na união das peças com adesivos. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a influência deste nas propriedades de adesão de duas espécies comerciais de eucalipto representadas pelo híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*. Os adesivos utilizados foram à base de resina resorcinica (Cascofen RS216M) e acetato de polivinila - PVA (CASCORES 2590). Utilizaram-se cinco classes de umidade da madeira: 8, 10, 12, 14 e 16%, obtidas através do condicionamento em uma câmara climática, com controle automático das condições de temperatura e umidade relativa do ar. Avaliaram-se os efeitos dos diferentes tratamentos relativos à espécie de madeira, teor de umidade no momento da colagem e tipo de adesivo utilizado. O desempenho dos tratamentos foi julgado tanto pela análise da resistência média apresentada, bem como pelo percentual de falhas da madeira, seguindo a norma da ASTM D-3110 (1994). Para a madeira do híbrido clonal a umidade afetou pouco o desempenho das juntas coladas com os dois adesivos. Já na madeira de *Corymbia citriodora*, umidades entre 8 e 12% proporcionaram melhores desempenhos na união de juntas com o adesivo à base de acetato de polivinil a e para àquelas juntas unidas com adesivo à base de resorcinol formaldeído a de umidade de 12% proporcionou melhor desempenho.

Palavras-chave: Madeira de *Eucalyptus*, Umidade da madeira, Colagem

ABSTRACT

The moisture content of wood is an important factor that affect the gluing of wood joints with adhesives. This study had as objective to evaluate the influence of the moisture content in the adhesion of two eucalypt wood species. The woods used in this study were of a clonal hybrid of *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* and *Corymbia citriodora*. The adhesives used are based in resorcinol resin (Cascofen RS216M) and polyvinyl acetate - PVA (CASCORES 2590).

Five classes of wood moisture: 8, 10, 12, 14 and 16%, were obtained through conditioning in a moist chamber with automatic control of temperature and relative humidity. The essays followed the requirements of ASTM D-905 (1994) standard. Was evaluated the effect of the different treatments as wood species, moisture content at the time of gluing and adhesive used. The performance of the gluing was judged by the analysis of the mechanical resistance at the glue line, as well as the failure percentage of the wood in the glue line, that following the ASTM D-3110 (1994) standard. In the clonal hybrid wood the content moisture had little effect in the performance of the joints when were used two adhesives. To *Corymbia citriodora* the wood content between 8 and 12% given better results to the adhesive at base of polyvinyl acetate but when was used the resorcinol resin the best values of resistance in glue line occurred to 12% of content moisture in the wood joints.

Keywords: Eucalypt wood, wood moisture, gluing.

INTRODUÇÃO

Já é uma realidade a utilização da madeira de eucalipto nas mais diversas formas de aplicações industriais. Na industrialização da madeira visando à produção dos mais diversos tipos de produtos, principalmente àqueles mais elaborados usados na construção civil em geral, na indústria de embalagens e mesmo no setor de movelaria, o correto processamento é de fundamental importância.

Uma possível forma de contornar problemas relativos às pequenas dimensões de peças originadas de árvores de pequenos diâmetros, como no caso das espécies de reflorestamento é a utilização de uniões destas peças por meio de adesivos. Sabe-se que algumas espécies do gênero *Eucalyptus* e também do gênero *Corymbia* possuem algumas dificuldades de adesão das madeiras. O gênero *Eucalyptus* por caracterizar em um elevado número de espécies, possui apenas poucas espécies de madeiras de fácil adesão, com o predomínio aquelas de difícil colagem, sobretudo àquelas de elevada massa específica aparente e teores de extrativos elevados. É então necessário que seja dominada alguns aspectos de sua tecnologia de processamento, sendo entre estes àquele referente à sua adesão, principalmente, quando se pretende construir elementos estruturais pré-fabricados como elementos de treliça, vigas laminadas, pilares de sustentação entre outros.

Petrauski (1999) estudou o comportamento da adesão de juntas coladas da madeira de *Corymbia citriodora* (Eucalipto citriodora). Naquele estudo a autora objetivou definir as melhores combinações de variáveis como consumo de adesivo, pressão de colagem e número de faces de aplicação do adesivo à base de resorcinol formaldeído. A autora concluiu que a resistência ao cisalhamento das juntas coladas foi afetada pelas variáveis estudadas. Houve ainda efeito significativo para as interações do consumo X pressão, e consumo

X face de colagem.

A otimização do uso dos adesivos deve-se também levar em consideração o aspecto econômico, uma vez que na utilização estrutural, na maioria das vezes o seu custo é fator limitante no desenvolvimento de produtos. Por exemplo, no Brasil, o grande fator limitante para a produção de madeira laminada colada (MLC) é o custo do adesivo, em que àquele à base de resorcinol formaldeído, que é importado, pode segundo Lima (1994) e Bohn; Szücs (1995), representar entre 40 e 60% do custo final. Na tentativa de reduzir o consumo de adesivo, Bohn (1995) estudou o efeito da diluição de adesivo à base de resorcinol na qualidade das juntas coladas de madeira, percebendo que uma diluição em até 40% com água é viável. Também nesta mesma linha, Abraão (1999) estudou a redução de área colada em elementos estruturais (vigas e colunas) feitos com madeira de *Eucalyptus grandis*, laminada e colada. Petruski (1999) também estudou o efeito da redução de área colada, em colunas feitas com madeira de *Eucalyptus grandis*, no módulo de elasticidade e nas cargas de ruptura. Os valores de área colada foram 100, 50, 30, 20 e 10%. Não foi constatado efeito da redução da área colada no módulo de elasticidade, mas a carga de ruptura reduziu em certos tratamentos.

Um dos fatores que se deve levar em consideração nas operações de colagem de qualquer madeira é o teor de umidade no momento da colagem. Para a colagem de juntas com alguns tradicionais adesivos sintéticos, como por exemplo, à base de resorcinol, é imprescindível que a madeira seja previamente seca até teores de umidade normalmente entre 5% e 20% (REMADE, 2007). Sabe-se que o comportamento das juntas coladas em relação ao teor de umidade de colagem é variável e dependente da espécie. Daí há necessidade de investigação desta variável afetando a adesão da madeira. Este estudo teve como objetivo principal avaliar a influência do teor de umidade nas propriedades de adesão da madeira de duas espécies comerciais de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

A madeira utilizada foi proveniente do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e da espécie *Corymbia citriodora*. Os tratamentos utilizados foram compostos pelas espécies de madeira de eucalipto (2); pelo teor de umidade no momento da colagem (5) e pelo número de adesivos utilizados (2), o que totalizou um número de 20 tratamentos, com um número de 20 repetições para cada um destes.

Os adesivos utilizados foram à base de resina resorcínica, conhecido com o Cascophen RS216M, e de acetato de polivinila – PVA (CASCORES 2590). Os teores de umidade utilizados foram de 8, 10, 12, 14 e 16%, obtidos através do condicionamento das amostras de madeira em uma câmara de climatização, com controle automático das condições de temperatura e umidade relativa do

ar. Após a climatização das amostras, foram preparadas as juntas a serem unidas.

O ensaio de adesão seguiu a norma da ASTM D-905 (1994). Após a aplicação do adesivo em cerca de 300 g*m-2, espalhados com pincel em amostras de madeira de 300x65x20 mm devidamente preparadas nas duas faces, foram avaliados os efeitos dos diferentes tratamentos como espécie da madeira, teor de umidade no momento da colagem e tipo de adesivo utilizado. O desempenho dos tratamentos foi avaliado tanto pela análise da resistência ao cisalhamento paralelo na linha de colagem, bem como pelo percentual de falhas da madeira ocorridas nas juntas, que seguiram a norma da ASTM D-3110 (1994).

A análise dos resultados foi realizada com o auxílio de análise de variância, incluindo arranjo fatorial e apresentando significância as médias foram testadas aplicando-se o teste de Tukey a um nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios e a variabilidade para a resistência ao cisalhamento para juntas coladas do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora* nas diferentes classes de umidade em que foi feita a adesão estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios e variabilidade para a resistência ao cisalhamento na madeira para juntas coladas do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*

Classe de umidade (%)	Resistência ao Cisalhamento (Kgf/cm ²)			
	Híbrido clonal		<i>Corymbia citriodora</i>	
	PVAc	Resorcinol	PVAc	Resorcinol
8	132,72 a ¹ (18,16)(13,68)	113,25 a (24,66)(21,77)	148,54 a (29,77)(20,04)	118,75 ab (36,78)(30,97)
10	128,44 a (19,01)(14,80)	117,30 a (16,38)(13,97)	136,00 a (23,50)(17,28)	115,26 ab (18,27)(15,85)
12	130,18 a (16,38)(12,58)	115,57 a (26,04)(22,53)	153,00 a (22,09)(14,43)	132,00 a (26,28)(19,91)
14	122,15 ab (19,84)(16,24)	119,74 a (15,03)(12,55)	111,84 b (16,05)(14,35)	108,36 ab (15,93)(14,70)
16	110,00 b (19,26)(20,72)	128,77 a (18,38)(14,73)	140,86 a (14,16)(10,05)	95,56 b (39,11)(42,73)

* - Valores entre parênteses são desvio padrão (kgf/cm²) e coeficiente de variação (%) respectivamente.

¹ - Dentro da mesma coluna as médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Na Tabela 1, relativo ao adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc), as juntas coladas da madeira do híbrido clonal *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, nos teores de umidade de 8% a 14% não diferiram estatisticamente quanto à resistência ao cisalhamento na linha de cola, com o pior desempenho para juntas coladas a 16% de umidade.

O que foi observado na Tabela 1 para as juntas da madeira do híbrido clonal

, unidas com o adesivo à base de resorcinol-formaldeído foi ausência de diferenças significativas ao nível de 5% de significância no que diz respeito à resistência a o cisalhamento na linha de cola nos teores de umidade de 8% a 16%.

Para as juntas da madeira de *Corymbia citriodora*, unidas com o adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc), observa-se na Tabela 1 que para os teores de umidade de 8, 10, 12 e 16%, estas não diferiram estatisticamente, apresentando valores de resistência ao cisalhamento bastante elevados em relação ao apresentado pela juntas unidas a 14% de umidade, que apresentou o menor valor para a resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Para as juntas da madeira de *Corymbia citriodora* unidas com o adesivo à base de resorcinol-formaldeído, o melhor desempenho em relação à resistência ao cisalhamento na linha de cola foi a 12% de umidade, apresentando resultado inferior quando colada a um teor de umidade de 16%.

De acordo com suas características anatômicas, observa-se que a madeira de *C. citriodora*, além de apresentar densidade alta igual a 1,04 g*cm⁻³ e, também elevados teores de extrativos em sua constituição, apresentou desempenho satisfatório quando colada com teor de 12% de umidade para os dois adesivos testados.

Na Tabela 2 encontram-se os valores médios para a falha na madeira para juntas coladas do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*.

Tabela 2. Valores médios para a falha na madeira para juntas coladas do híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* e *Corymbia citriodora*

Classe de umidade (%)	Falha na madeira (%)			
	Híbrido clonal		<i>Corymbia citriodora</i>	
	PVAc	Resorcinol	PVAc	Resorcinol
8	94,15 (9,80)(10,41)*	64,92 (25,35)(39,04)	66,67 (32,60)(48,90)	52,50 (24,02)(45,75)
10	93,75 (5,56)(5,93)	90,56 (8,29)(9,15)	75,2 (19,10)(25,40)	81,40 (13,40)(16,47)
12	94,63 (5,71)(6,03)	81,96 (18,67)(22,78)	48,45 (20,67)(42,66)	55,81 (19,99)(35,83)
14	64,69 (15,22)(23,52)	83,55 (13,90)(16,64)	77,19 (14,79)(19,16)	90,98 (19,47)(21,40)
16	71,75 (17,99)(25,07)	87,10 (12,99)(14,92)	38,13 (17,35)(0,46)	69,63 (28,12)(0,40)

* - Valores entre parênteses são desvio padrão (%) e coeficiente de variação (%) respectivamente.

Para a madeira do híbrido clonal *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, de acordo com a Tabela 2, as juntas coladas com o adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc), nos teores umidade de 8 a 12% apresentou elevada percentagem de falha na madeira, justificando a alta resistência ao cisalhamento na linha de cola (Tabela 1). Apesar das controvérsias, o porcentual de falha na madeira é um importante parâmetro na avaliação Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, Jul/Dez. 2012

dos ensaios de adesão. Segundo Vital et al. (2005), elevados valores para o percentual de falha na madeira são indicativos de boa qualidade na adesão, pois indicam que a coesão do adesivo e a resistência da interface adesivo/madeira são iguais ou mais elevadas que a resistência da própria madeira.

Relativo à falha na madeira para as juntas coladas com o adesivo à base de resorcinol-formaldeído, o teor de umidade de 8% no momento da colagem levou a valor inferior às demais, no entanto, próximo dos mínimos de 65% de falha na madeira estabelecido pela norma ASTM D-905 (1994) para utilizações não estruturais.

Para a madeira de *Corymbia citriodora*, as juntas coladas com o adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc), os menores valores de falha na madeira foram observados nos teores de 12% e 16% de umidade, respectivamente, sendo que os demais tratamentos apresentaram valores aceitáveis deste parâmetro. Observando a Tabela 1, nas mesmas condições de umidade e mesmo tipo de adesivo, vê-se na madeira do *C. citriodora* valores altos para a resistência ao cisalhamento na linha de cola, demonstrando uma relação independente entre estes dois parâmetros.

Relativo à percentagem de falha na madeira para as juntas unidas com o adesivo a base de resorcinol-formaldeído, juntas coladas da madeira a 8%, 12% e 16% de umidade apresentaram comportamento inferior. Segundo Szűcs et al. (2006), para a madeira laminada e colada (MLC), a secagem das tábuas é necessária, para se conseguir um melhor efeito na etapa da colagem. Nesse sentido, é preciso que as tábuas estejam com um teor de umidade entre 7 e 14%. No caso de se ter um ambiente não climatizado no local onde será realizada a colagem, esse teor de umidade da madeira pode estar compreendido entre 12 e 16%.

CONCLUSÃO

- Para a madeira do híbrido clonal *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* o teor de umidade teve menor efeito na colagem das juntas coladas quando utilizou o adesivo à base de acetato de polivinila (PVAc).
- Para esta mesma madeira, juntas unidas com o adesivo à base de resorcinol-formaldeído não apresentaram desempenho influenciado pelo teor de umidade.
- O desempenho das juntas de madeira de *Corymbia citriodora*, unidas com o adesivo à base de acetato de polivinila foi superior, quando se utilizou teores de umidade variando de 8 a 12%.
- Relativo a esta mesma madeira, unida com adesivo à base de resorcinol-formaldeído, as juntas unidas a um teor de umidade de 12% apresentaram desempenho inferior.
- Levando em consideração os valores de falha na madeira, pode-se concluir que a madeira do híbrido clonal *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*

teve melhor na colagem de suas juntas.

• O *Corymbia citriodora* e o híbrido clonal *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis* são fontes viáveis de madeira que podem ser utilizados nas mais diversas aplicações que utilizam adesivos para unir peças de dimensões pequenas nas mais diversas áreas, como na construção civil, movelaria, confecção de embalagens e painéis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, C. P. Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis*. 1999. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual book of A.S.T.M . Philadelphia, A.S.T.M., 1994. 608 p. (Standards, 15.06, Adhesives).

BOHN, A. R. Influência da espessura das lâminas de cola na madeira laminada colada. 1995. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BOHN, A. R.; SZÜCS, C. A. Influência da espessura dos anéis de crescimento no comportamento mecânico dos elementos de madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5., 1995, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: EEUFMG; CEFET; IBRAMEM, 1995. v. 1. p. 579-586.

LIMA, M. F. Para vencer grandes vãos. Revista de Tecnologia da Construção – Técnica, São Paulo, v. 2, n. 11, p.15-17, 1994.

PETRAUSKI, S. M. F. C. Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de laminado colado com madeiras de *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*. 1999. 129f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

REMADE. Pinus e eucalipto para produção de painéis. Revista da Madeira, n.103, 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1054&subject=Painéis&title=Pinus e eucalipto para producao de paineis . Acesso 07 de abril de 2010.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, Â. do.; MORAES, P. D. de. Estruturas de madeira. Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2006. 186p.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LÚCIA, R. M. Efeito de ciclos de umidade Construindo, Belo Horizonte, v. 4, n. 2, Jul/Dez. 2012

relativa e temperatura do ar na resistência de juntas cola das com lâminas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Eucalyptus saligna* Smith e chapas de fibra de densidade média (MDF). Revista *Árvore*, v.29, n.5, p. 801-808, 2005.