

Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciaisWood bonding *Eucalyptus* clones using three commercial adhesivesCeliana Kátia Pereira Lima¹, Fábio Akira Mori², Lourival Marin Mendes²,
Paulo Fernando Trugilho² e Cláudia Lopes Selvati de Oliveira Mori³**Resumo**

A colagem é uma etapa fundamental para a moderna indústria de produtos reconstituídos da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e, ultimamente, vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida quanto pela escassez de madeira sólida. Dentro desse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade de juntas coladas da madeira de quatro clones de *Eucalyptus*, utilizando-se três adesivos comerciais (acetato de polivinila, uréia-formaldeído e resorcinol-formaldeído) aplicados de acordo com a recomendação dos fabricantes, e avaliados quanto à resistência ao esforço de cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira. Determinou-se o teor de sólidos, pH, tempo de gelatinização e a viscosidade dos adesivos. A variância, aplicada a 5% de probabilidade, indicou diferença significativa na resistência ao cisalhamento, indicando, pelo teste de média segundo Tukey, o clone 26 como o de melhor desempenho. Para a porcentagem de falha na madeira, ocorreu diferença significativa em função do clone e do adesivo, a interação não significativa a 5% de probabilidade, sendo o clone 39 de melhor desempenho e o melhor adesivo aquele à base de uréia-formaldeído.

Palavras-chave: Colagem, Clones, *Eucalyptus*, Adesivos, Madeira reconstituída

Abstract

Bonding is fundamental step to the modern wood industry of reconstituted products, which promotes a more rational use of raw material and recently has been become a necessity both by the technology developed and by the shortage of solid wood. Within this context, the objective of the present study was to evaluate the quality of bonding junctions of the wood of four *Eucalyptus* clones of high volumetric production utilizing as adhesive (polyvinyl acetate, urea-formaldehyde and resorcinol-formaldehyde). Adhesives were applied according to the manufactures recommendations and evaluated as to shear strength and percentage of wood failure. Adhesives properties such as content of solids, pH, gelatinization time and viscosity were determined. Analysis of variance applied at the level of 5% of probability, indicated that the shear strength was significant between clone, indicating through Tukey test clone 26 as that of best performance. For the percentage of wood failure, significance occurred as related with the clone and adhesive, the interaction being non-significant at the level of 5% of probability, clone 39 being the one of best performance and the best adhesive on the basis of urea-formaldehyde.

Keywords: Bonding, Clones, *Eucalyptus*, Adhesives, Reconstituted products

INTRODUÇÃO

Atualmente, é de conhecimento no setor florestal brasileiro que a madeira do gênero *Eucalyptus* poderá ser a principal matéria-prima para atender a diversos segmentos industriais, seja na produção de múltiplos produtos de madeira, seja na produção de carvão vegetal e celulose. Analisando as espécies de rápido crescimento como alternativa para produção industrial de madeira, o gênero *Eucalyptus* apresenta-se como

uma espécie de grande relevância. No Brasil, esse gênero tem sido extensivamente utilizado em plantios florestais graças à sua grande capacidade de adaptação, somada às características de rápido crescimento, produtividade, ampla diversidade de espécies e por ter aplicação em diferentes usos (MORA e GARCIA, 2000).

Seguindo uma tendência mundial, as empresas florestais buscam novas alternativas para agregar maior valor aos seus produtos. Associada a isso, a madeira continua sendo a matéria-

¹Mestre em Ciências Florestais pela Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: celiana.lima@hotmail.com

²Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras – Caixa Postal 3037 – Lavras, MG – 37200-000 – E-mail: morif@ufla.br; lourival@ufla.br; trugilho@ufla.br

³Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 307 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: selvaticl@uol.com.br

prima principal para um grande número de produtos, tornando-se necessária a adequação de espécies de rápido crescimento para suprir a demanda que recai sobre as florestas nativas. Dessa forma, o eucalipto surge como opção potencial para utilização em produtos de maior valor agregado, o que inclui madeira serrada, móveis, construção civil e madeira para produção de lâminas (OLIVEIRA, 1997).

Vários são os estudos realizados com a madeira de *Eucalyptus* em relação às suas características químicas, anatômicas e mecânicas, bem como processos de desdobro e secagem, como os trabalhos de Della Lúcia e Vital (1981), Shimoyama (1990), Pincelli (1999), Petruski (1999), Cruz (2000), Almeida (2002) e Serpa *et al.* (2003).

A clonagem aparece como a ferramenta mais eficiente na produção de madeira em quantidade e qualidade exigidas pelo mercado, promovendo a homogeneização das propriedades tecnológicas da madeira, como demonstram os trabalhos de Ferreira (1992), Ruy (1998) e Tomaselli *et al.* (1999). Desse modo, a clonagem possibilita a produção em massa de madeira com características previamente selecionadas e ainda, assegura maior rendimento do processo de produção.

As empresas procuram nos clones de eucaliptos as árvores de crescimento mais rápido e que produzam madeira de melhor qualidade para fins específicos. Para isso é necessário o conhecimento mais aprofundado de suas características bem como seu comportamento durante e após o beneficiamento.

Nesse contexto, a colagem da madeira ou a reconstituição da madeira maciça em produtos colados apresenta-se como uma alternativa de melhorar o aproveitamento da matéria-prima, pois reduz a exigência em qualidade da madeira (nós, bolsa de resina e outros); entretanto, a qualidade do adesivo utilizado para esses processos deve ser observada como um critério de excelência na qualidade do produto.

A colagem é uma etapa fundamental para o melhor aproveitamento do material madeira, principalmente no setor moveleiro e no apro-

veitamento de peças de pequenas dimensões. A tecnologia de desenvolvimento de novos adesivos é grande, devido ao avanço da química, devendo, portanto serem estudados aqueles adesivos que melhor se adaptem e interajam com os diferentes tipos de madeira.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da colagem da madeira de quatro clones de *Eucalyptus*, com o uso de três tipos de adesivos comerciais, avaliados por meio da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento e a porcentagem de falha na madeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se neste experimento madeira proveniente de quatro clones de *Eucalyptus*, sendo três de *Eucalyptus urophylla* e o outro de *Eucalyptus camaldulensis*, de aproximadamente 14 anos de idade (Tabela 1), provenientes de plantios da Companhia Mineira de Metais, localizada na cidade de Vazante, MG.

De cada clone utilizaram-se três árvores e de cada árvore foi retirada uma tora de aproximadamente 3 metros de comprimento (a partir da base). As toras foram conduzidas para a Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais (DCF) da Universidade Federal de Lavras (Ufla), onde foram serradas para a retirada de pranchas longitudinais de 5 cm de espessura, escolhidas pela sua posição mais próxima da casca, sendo transformadas em pequenas amostras de dimensões 2,0 x 6,5 x 31 cm (espessura x largura x comprimento). Em seguida todas as amostras foram aplainadas.

Os adesivos utilizados nesta pesquisa foram Movicol PVA à base de acetato de polivinila, Progel UF 61 AT à base de uréia-formaldeído com adição de cloreto de amônio como catalisador na proporção de 5 partes por 100 partes de adesivo e o Cascophen RS à base de resorcinol, com adição do endurecedor FM (formalina) na proporção de 1 parte por 5 partes de adesivo.

Tabela 1. Caracterização dos clones selecionados.

Table 1. Clones characterization.

Clone	Idade aproximada (anos)	Espécie paternal	DAP médio (cm) ¹	Desvio Padrão (DAP)	Volume médio (m ³) ²	Desvio Padrão (volume)	Densidade Básica (g/m ³)	Desvio Padrão (densidade básica)
39	14	E.urophylla	33,03	0,5346	1,456	0,0458	0,467	0,020
26	14	E. urophylla	32,20	1,1789	1,349	0,2477	0,501	0,015
44	14	E. urophylla	30,82	1,5607	1,110	0,1367	0,500	0,012
180	14	E. camaldulensis	30,42	1,9857	1,324	0,1292	0,578	0,023

1- Média obtida de 3 árvores, com duas medidas de DAP por árvore. 2- Média obtida de 4 árvores.

Para determinação do teor de sólidos dos adesivos, empregou-se um procedimento adaptado da norma ASTM D1582-60 (1994). Utilizaram-se 10 g de adesivo misturado com 25 g de areia seca ($103 \pm 2^\circ\text{C}$), ambos secos em estufa por 24 horas ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) para posterior obtenção do teor de sólidos em relação a massa inicial do adesivo. A determinação do pH foi feita utilizando-se um pHmetro, à temperatura de 25°C , colocando-se o eletrodo diretamente dentro de um béquer contendo 50 g de adesivo. A viscosidade foi fornecida pelo fabricante do adesivo, exceto para o adesivo resorcinólico, para o qual se utilizou o método do copo graduado.

A confecção das juntas coladas e os corpos-de-prova e o ensaio de resistência ao cisalhamento da linha de cola seguiram as prescrições da Norma ASTM D905-98 (1998). Confeccionaram-se duas juntas coladas de cada clone, e posteriormente de cada junta foram retirados cinco corpos-de-prova. Assim, os resultados representam a média de trinta corpos-de-prova de cada adesivo e clone.

A gramatura de adesivo aplicada em linha dupla de colagem foi de 250 g/m^2 . Aplicado o adesivo, as juntas foram prensadas no Laboratório de Adesão e Adesivos na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira, UEPAM – DCF - Ufla. Usou-se prensa hidráulica de 30 toneladas, com pressão de 12 kgf/cm^2 durante 6 horas, para os adesivos de PVA e uréia-formaldeído e durante 24 horas para o adesivo resorcinólico à temperatura ambiente.

Após a adesão e desdobro das juntas, e posterior acondicionamento em ambiente com umidade relativa de $60 \pm 5\%$ e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$, durante 15 dias, os corpos-de-prova foram ensaiados com o uso de máquina univer-

sal de ensaio, EMIC DL-30000, no Laboratório de Mecânica da Madeira DCF-Ufla. O software utilizado foi o Tesk versão 1.08 e a velocidade de ensaio foi de 0.5080 mm/minuto .

A porcentagem de falha na madeira foi obtida por inspeção, com o auxílio de uma malha quadriculada, com as suas respectivas áreas delimitadas em porcentagem. Cada corpo-de-prova foi inspecionado por duas pessoas, que atribuíram valores à porcentagem de falhas na madeira. A média desses valores foi, então, atribuída à amostra.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (DEX-Ufla). O delineamento experimental utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com três repetições (árvore) por tratamento (clone e adesivo). A transformação $\text{arc sen } \sqrt{\%}$ dos valores de falha na madeira foram realizados para normalizar a distribuição dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as propriedades físico-químicas dos adesivos utilizados encontram-se na Tabela 2.

Os valores médios da resistência ao cisalhamento, bem como da porcentagem de falha na madeira, segundo clone e adesivo, estão apresentados na Tabela 3. A análise estatística destes dados encontra-se na Tabela 5.

Na Tabela 4 estão apresentados valores médios de resistência ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira para espécies de *Eucalyptus*, colados com adesivos à base de PVA, uréia-formaldeído e resorcinol, segundo alguns dados encontrados na literatura.

Tabela 2. Resultados obtidos para as propriedades físico-químicas dos adesivos comerciais.

Table 2. Chemical physic properties results from the commercial adhesives.

Propriedades	Adesivos		
	PVA	Uréia-formaldeído	Resorcinólico
Teor de sólidos (%)	48,45	49,4	61,9
pH a 25°C	5,12	7,7	7,3
Viscosidade (cPs)	10000 a 16000	400 a 700	2127

Tabela 3. Valores médios de resistência ao cisalhamento (MPa) e porcentagem de falha na madeira (%), das juntas coladas, em função do clone e tipo de adesivo.

Table 3. Average values of shear strength and percentage of wood failure (%) of the wood bond as related to the clone and kind of the adhesive.

Clone	Adesivos					
	PVA		Uréia-formaldeído		Resorcinólico	
	tr (MPa)	FM (%)	tr (MPa)	FM (%)	tr (MPa)	FM (%)
180	7,94 ^{27*}	13 ^{26*}	9,98 ²⁷	43 ²⁷	8,76 ²⁵	35 ²⁵
39	6,98 ³⁰	37 ³⁰	7,36 ²⁹	86 ²⁷	7,55 ³⁰	64 ²⁹
44	7,61 ³⁰	18 ³⁰	7,45 ³⁰	64 ³⁰	8,20 ²⁴	50 ²⁴
26	7,75 ³⁰	8 ³⁰	8,94 ²⁷	51 ²⁷	9,07 ²⁸	29 ²⁷

*n°. de corpos-de-prova (as diferenças se devem a perda de material com defeitos); tr : resistência ao cisalhamento; FM: falha na madeira

Tabela 4. Valores médios de resistência ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira, segundo algumas literaturas para o gênero *Eucalyptus*.

Table 4. Average values of shear strength and percentage of wood failure (%) from the literature.

Adesivos	Resistência ao cisalhamento (MPa)	Porcentagem de falha na madeira (%)	Fonte
PVA	10,28	6	Della Lúcia e Vital (1981) ¹
	13,44	100	Pincelli (1999) ²
	10,62 a 11,72	-	Serpa <i>et al.</i> (2003) ³
Uréia-formaldeído	11,27	23	Della Lúcia e Vital (1981) ¹
	11,88	100	Pincelli (1999) ²
	1,60 a 2,03	-	Almeida (2002) ⁴
Resorcinólico	8,00	6	Della Lúcia e Vital (1981) ¹
	13,52	92	Pincelli (1999) ²
	14,95 a 18,44	-	Petrauski (1999) ⁵

¹Trabalhos com *Eucalyptus saligna*, ²*Eucalyptus saligna*, ³*Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, ⁴Híbrido de *E. grandis* e *E. uruhylla*, ⁵*Eucalyptus citriodora*.

Para a resistência ao cisalhamento em função do clone, pode-se observar na Tabela 5, que não houve diferença significativa entre os clones 39, 44 e 180. Também não ocorreu diferença entre os clones 44, 180 e 26. No entanto, o clone 26 foi estatisticamente mais resistente do que o clone 39.

Para a porcentagem de falha na madeira, observa-se na Tabela 6, que o clone 39 apresentou o maior percentual de falha na madeira, diferindo significativamente dos demais. Não houve diferença estatística entre os clones 26, 180 e 44 em relação à porcentagem de falha na madeira, sendo esses os menores percentuais.

Tabela 5. Valores médios de resistência ao cisalhamento (MPa), em função do clone.

Table 5. Average values of shear strength (MPa) in relation to the clone.

Tratamento (clone)	Médias (MPa)	Resultados
39	7,30	a
44	7,75	a b
180	8,56	a b
26	8,59	b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Valores médios de falha na madeira (%), em função do clone.

Table 6. Average values of percentage of wood failure (%) in relation to the clone.

Tratamento (clone)	Médias (%)	Resultados
26	29	a
180	30	a
44	44	a
39	62	b

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se os valores médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola e a porcentagem de falha na madeira com a literatura (Tabela 4), observa-se que os valores encontrados neste trabalho foram inferiores. Estes auto-

res também relatam os baixos valores encontrados em suas pesquisas das juntas coladas da madeira de eucaliptos. Vários fatores da madeira das diferentes espécies de eucaliptos podem influenciar nos baixos resultados tais como: pH, capacidade-tampão e tipos de extrativos da madeira, penetração do adesivo (características anatômicas e densidade da madeira), viscosidade e teor de sólidos do adesivo, tempo e pressão durante a prensagem.

Na Tabela 7 pode-se observar que, os valores médios de falha na madeira diferem significativamente entre os diferentes adesivos utilizados na colagem das juntas de madeira, tendo a madeira colada com adesivo de uréia-formaldeído a maior porcentagem de falha na madeira. O fato do adesivo de uréia-formaldeído apresentar este melhor comportamento pode ser atribuído à adição do catalisador cloreto de amônio.

Pincelli (1999) também encontrou altos valores de falha na madeira utilizando o adesivo uréia-formaldeído na colagem de madeira de *Eucalyptus saligna*.

Os valores de resistência ao cisalhamento e a porcentagem de falha na madeira encontrados neste estudo, não devem ser analisados separadamente quanto à utilização da madeira colada, devendo ser levadas em consideração situações como condições de uso e demais características que influenciam na qualidade da colagem.

Tabela 7. Valores médios de falha na madeira (%), em função do tipo de adesivo.

Table 7. Average values of percentage of wood failure (%) in relation of the kind of the adhesive.

Tratamento (adesivo)	Médias (%)	Resultados
PVA	19,35	a
Resorcinólico	44,58	b
Uréia-formaldeído	61,23	c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

A resistência ao cisalhamento foi independente do tipo de adesivo utilizado. A madeira colada do clone 26 apresentou o maior valor de resistência ao cisalhamento.

Para a porcentagem de falha na madeira, o clone 39 foi o de melhor desempenho, e o adesivo que obteve melhor resultado na avaliação desta propriedade foi o de uréia-formaldeído.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais. Agradecem também à FAPEMIG - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo financiamento do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, R.R. Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados. 2002. 80p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2002.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1994 *Annual book of Standards: D1582-60*. Denver: ASTM, 1994.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 1998 *Annual book of Standards: D905-98 - Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading*. Denver: ASTM, 1998.
- CRUZ, C.R. Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus* para utilização na indústria madeireira. 2000. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba, PR, 2000.
- DELLA LÚCIA, R.M.; VITAL, B.R. Avaliação da qualidade de juntas coladas de madeira de três espécies de *Eucalyptus*. *Revista Árvore*, Viçosa, v.2, n.5, p.172-180, 1981.
- FERREIRA, M. Melhoramento e silvicultura intensiva clonal. *IPEF*, Piracicaba, n.45, p.22-30, 1992.
- MORA, A.L.; GARCIA, C.H. *A cultura do eucalipto no Brasil*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 111p.
- OLIVEIRA, J.T.S. *Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil*. 1997. 2v. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) -Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, SP, 1997.
- PETRAUSKI, S.M.F.C. *Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de madeira de Eucalyptus citriodora e Eucalyptus grandis laminada e colada*. 1999. 129p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.
- PINCELLI, A.L.P.S.M. *Efeito da termorretificação no envernizamento, colagem e cor da madeira de Eucalyptus saligna e Pinus caribaea var. hondurensis*. 1999. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1999.
- RUY, O.F. *Variação da qualidade da madeira em clones de Eucalyptus urophylla S.T. Blake da Ilha das Flores, Indonésia*. 1998. 69p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1998.
- SERPA, P.N.; VITAL, B.R.; DELLA LUCIA, R.M.; PIMENTA, A.S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.5, p.723-733, 2003.
- SHIMOYAMA, V.R.S. *Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira de Eucalyptus spp.* 1990. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 1990.
- TOMASELLI, I.; DELESPINESSE, B.; BONSE, R. Eucalipto: alternativa às madeiras tropicais? *Silvicultura*, São Paulo, n.77, p.22-23, 1999.

Recebido em 16/05/2006

Aceito para publicação em 17/06/2008

