

Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivosEvaluation of strength of wood bonded joints of *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* glued with different adhesivesSetsuo Iwakiri<sup>1</sup>, Rosilani Trianoski<sup>1</sup>, Ramiro Faria França<sup>2</sup>, Thais Alves Pereira Gonçalves<sup>3</sup>, Pedro Lício Loiola<sup>2</sup>, Samantha Rodrigues Campelo<sup>2</sup> e Suelen Marina de Araújo Pontes Farias<sup>2</sup>**Resumo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade das juntas coladas de madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens*, e misturas destas, utilizando adesivos a base de acetato de polivinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI) em gramaturas de 150 e 200 g/m<sup>2</sup>. A resistência das juntas coladas foi avaliada por meio de ensaios de cisalhamento, com base nos procedimentos descritos na norma EN 13354 (EN, 2008b). O aumento na gramatura não influenciou nos resultados de cisalhamento, indicando os benefícios em termos econômicos com a redução no consumo do adesivo. As juntas coladas com o adesivo EPI, para as duas espécies e duas gramaturas avaliadas, atingiram o valor mínimo de 2,5 MPa referente ao 5º percentil inferior estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2008a). Os resultados obtidos indicam o potencial de uso da madeira de *Sequoia sempervirens* para produção de painéis colados lateralmente – EGP, com adesivo EPI e gramatura de 150 g/m<sup>2</sup>. **Palavras-chave:** cryptomeria, sequoia, acetato de polivinila, emulsão polimérica de isocianato.

**Abstract**

The aim of this study was to evaluate the quality of wood bonded joints of *Sequoia sempervirens* and *Cryptomeria japonica*, and mixtures of these species, using polyvinyl acetate (PVAc) and polymeric emulsion of isocyanate (EPI) adhesives in weights of 150 and 200 g/m<sup>2</sup>. The strength of the bonded joints was evaluated through shear tests based on procedures described in EN 13354 (EN, 2008b). The increase in weight did not influence the results of shear strength, indicating the benefits in economic terms with the reduction in the consumption of adhesive. Joints glued with EPI adhesive, for the two species and two evaluated weights have reached the minimum value of 2.5 MPa of the 5<sup>th</sup> lower percentile established by EN 13353 (EN, 2008a) standard requirement. The results indicate the potential use of *Sequoia sempervirens* wood for the production of edge glued panels - EGP, using EPI adhesive with weight of 150 g/m<sup>2</sup>. **Keywords:** cryptomeria, sequoia, polyvinyl acetate, polymeric emulsion of isocyanate.

**INTRODUÇÃO**

Os produtos reconstituídos de madeira apresentam inúmeras vantagens com relação à madeira sólida no que se refere a dimensões, estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência mecânica. A sua utilização é bastante ampla, com aplicações principalmente no setor moveleiro e indústrias de embalagens e da construção civil. A partir da colagem de pequenas peças de madeira, pode-se obter um novo produto com maior valor agregado e possibilitar a otimização do uso de recursos florestais.

Dentre os produtos reconstituídos encontram-se os painéis de madeira colada lateralmente, denominada comercialmente de painéis de madeira maciça ou *Edge glued panel* – EGP. De acordo com Prata (2010) o “EGP”, é um painel composto por sarrafos obtidos a partir da madeira serrada e unido através de ligação adesiva nas laterais, podendo ou não ser unidos no topo por emendas do tipo “finger joint”. Grande parte do interesse pela madeira colada provém do fato de que ela viabiliza a utilização de madeiras de florestas plantadas de rápido crescimento, de baixa e média massa específica que, na confec-

<sup>1</sup>Professor(a) Doutor(a) do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR – Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR – 80210-170 – E-mail: [setsuo@ufpr.br](mailto:setsuo@ufpr.br), [rosilani@ufpr.br](mailto:rosilani@ufpr.br)

<sup>2</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR – 80210-170 – E-mail: [f.f.ramiro@gmail.com](mailto:f.f.ramiro@gmail.com), [pedrolicio@hotmail.com](mailto:pedrolicio@hotmail.com), [samcampelo@hotmail.com](mailto:samcampelo@hotmail.com), [suelem.pontes@ac.gov.br](mailto:suelem.pontes@ac.gov.br)

<sup>3</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. UFPR - Av. Lothário Meissner, 632, Curitiba, PR – 80210-170 – E-mail: [th.goncalves@yahoo.com.br](mailto:th.goncalves@yahoo.com.br)

ção do produto, confere rigidez suficiente para aplicação que requeira uma resistência mecânica adequada (TIENNE et al, 2011).

As madeiras de florestas plantadas têm sido bastante estudadas para produção de painéis reconstituídos, fazendo-se uso de adesivo como agente de ligação. No Brasil, *Pinus* e *Eucalyptus* são os gêneros mais utilizados para florestas plantadas, ocupando aproximadamente 6,7 milhões de hectares. A área ocupada com plantios florestais de espécies não convencionais vem crescendo anualmente e no ano de 2012 foi de aproximadamente 500 mil hectares, correspondendo a 7,2% da área total de plantios florestais no país (ABRAF, 2013).

O cedro japonês, *Cryptomeria japonica* D. Don (Cupressaceae Gray) é considerado um gênero monotípico endêmico do Japão, ocorrendo em outros países por plantios recentes ou antigos (THOMAS et al, 2013). No Japão, a espécie *Cryptomeria japonica* ocorre entre 600-800m de altitude, clima caracterizado por invernos frios, com ocorrência de neve e verões moderadamente quentes (PEREIRA et al, 2003). Já no Brasil, requer solos profundos, úmidos e bem drenados, de preferência em encostas protegidas. Os plantios comerciais iniciaram em Caieiras-SP e em Camanducaia-MG, 750-1.000m e 1.500 m de altitude, respectivamente (SHIMIZU; MAIOCHI, 2007). Contudo, em locais como Santa Catarina e Paraná, os plantios ocorrem em 600m e 800m de altitude, respectivamente (PEREIRA et al, 2003). A *cryptomeria* possui madeira com alburno amarelo claro e cerne marrom escuro, apresenta textura fina e grã reta, sendo estável e de boa trabalhabilidade (GERARD et al, 2004).

A *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. (Cupressaceae Gray) é uma espécie nativa dos Estados Unidos da América (Califórnia, Oregon), é popularmente conhecida por terem as árvores mais altas que existem, ocupam especialmente a faixa de 30-750m de altitude, normalmente ocorrem com outras gimnospermas e angiospermas, podem ultrapassar 2.000 anos de idade (GILMAN; WATSON, 2011; FARJON; SCHIMID, 2013). Possui madeira com alburno esbranquiçado e cerne marrom avermelhado, boa estabilidade dimensional, alta resistência à deterioração, é favorável para produção de celulose, apresenta boa usinabilidade e boa aderência para tintas e vernizes, além de não apresentar resinas típicas de gimnospermas, o que torna essa espécie atrativa para a produção de painéis e o uso na indústria moveleira (IWAKIRI et al, 2013a).

Dois tipos de adesivos são utilizados na produção de painéis EGP: o poliacetato de vinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI).

O PVAc é resultante da polimerização (em dispersão aquosa) do acetato de vinila. É um dos adesivos termoplásticos mais utilizados para colagem de madeiras e foi desenvolvido na década de 50 para uso interior (PIZZI, 1983). De acordo com Lopes (2008) este adesivo é popularmente conhecido como “cola branca”, atualmente é o adesivo mais usado pela indústria da madeira e móveis para aplicações de uso interior, e substituíram os adesivos de base natural como as caseínas. O produto colado com PVAc apresenta alta resistência mecânica em ambiente seco, porém limitações de uso em ambientes com altas temperaturas e umidade relativa (PIZZI, 1983).

A emulsão polimérica de isocianato (EPI) é um adesivo bicomponente, formado por uma base de poli (acetato de vinila) e um isocianato polimérico (difetilmetano-diisocianato – MDI). Este último tem a função de catalisar a reação de cura do adesivo que ocorre através da reação dos grupos isocianatos com as hidroxilas da madeira. Devido à elevada reatividade, o tempo de aplicação deve ser ajustado de acordo com a recomendação do fabricante (LOPES, 2008).

A colagem de duas peças de madeira depende de vários fatores como estrutura anatômica, massa específica e porosidade. Iwakiri (2005) relata que as propriedades anatômicas da madeira estão relacionadas diretamente com as ações de mobilidade do adesivo para o interior da estrutura da madeira, e formação de “ganchos” de ligação entre as faces de colagem da madeira. A porosidade tem uma relação inversa com a massa específica, ou seja, madeira com alta massa específica possui menos espaços vazios e, conseqüentemente, dificulta a penetração do adesivo no interior da madeira, diminuindo o ancoramento e resultando na baixa adesão mecânica (VICK, 1990).

Outros fatores como pH e extrativos presentes na madeira são também importantes, podendo interferir na cura do adesivo durante o processo de prensagem do painel. O pH da madeira está situado entre 3,0 e 5,5 e quando mais próximo do valor mínimo pode acelerar a cura da resina uréia-formaldeído e resultar na sua pré-cura durante o processo de prensagem a quente dos painéis (PIZZI, 1994). Já com rela-

ção aos extrativos, Pizzi (1994) e Marra (1992) afirmam que, dependendo da espécie e da condição de secagem da madeira, pode ocorrer a migração e concentração dos extrativos na superfície da madeira, fazendo com que ocorra o bloqueio dos poros comprometendo a ligação do adesivo com a madeira, característica esta denominada de inativação ou contaminação da superfície. Pode ocorrer ainda uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo, prejudicando a colagem.

Tendo em vista a necessidade de ampliar a gama de espécies alternativas para manufatura de produtos colados de madeira, este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência das juntas coladas de madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* visando fornecer informações técnicas para produção de painel colado lateralmente – EGP.

## MATERIAL E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram madeiras de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens*, provenientes de plantios experimentais localizados no Município de Rio Negrinho - SC e Rio Negro - PR respectivamente. Foram empregados para a colagem de madeiras os adesivos a base de acetato de polivinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI).

As madeiras foram obtidas na forma de tábuas e após a secagem ao teor de umidade médio de 12%, foram serradas e aplainadas para obtenção de peças com dimensões finais de 31,0 x

5,0 x 2,5 cm., para confecção de juntas coladas. A massa específica aparente foi obtida pela medição de todas as peças a serem coladas, num total de 36 peças por espécie. As análises químicas - teor de extrativos totais e lignina - foram realizadas a partir de maravalhas geradas no processo de aplainamento das peças para confecção de juntas coladas, e seguindo os procedimentos das normas TAPPI 264 (1997), TAPPI 204 (1997) e TAPPI 222 (2002), respectivamente.

O plano experimental consistiu em duas espécies e mistura destas, dois adesivos – PVAc e EPI, e duas gramaturas – 150 e 200 g/m<sup>2</sup>, conforme apresentado na Tabela 1.

O adesivo foi aplicado com auxílio de um rolo de espuma sobre uma das faces das peças e a gramatura foi controlada por meio de uma balança de precisão. As peças foram prensadas entre duas barras de ferro em formato “U”, com pressão específica de 1 MPa (controlada por torquímetro) e tempo de prensagem de 3 horas para os dois tipos de adesivos. Foram confeccionadas três juntas coladas por tratamento, totalizando 36 peças.

Após a colagem e acondicionamento das juntas coladas, foram confeccionados os corpos-de-prova para ensaios de cisalhamento da linha de cola, de acordo com os procedimentos descritos na norma EN 13354/2003. Foram testados 20 corpos-de-prova por tratamento, sendo 10 para ensaios sem pré-tratamento (corpos-de-prova acondicionados à temperatura de 20±3°C e umidade relativa de 65±5%) e 10 para ensaios após pré-tratamento com imersão em água à temperatura de 20°C, por um período de 24 horas, para uso final nas condições de ambiente a seco.

**Tabela 1.** Delineamento experimental.

**Table 1.** Experimental design.

Espécie	Tratamento	Adesivo	Gramatura (g/m <sup>2</sup> )
<i>Cryptomeria japonica</i>	1	PVA	150
	2	PVA	200
	3	EPI	150
	4	EPI	200
<i>Sequoia sempervirens</i>	5	PVA	150
	6	PVA	200
	7	EPI	150
	8	EPI	200
<i>Cryptomeria / Sequoia</i>	9	PVA	150
	10	PVA	200
	11	EPI	150
	12	EPI	200

Os resultados dos ensaios de cisalhamento foram comparados com os requisitos estabelecidos na norma EN 13353/2003. Após os ensaios de cisalhamento foram avaliadas as porcentagens de falha na madeira na superfície de ruptura da linha de cola. Ainda para o atendimento das condições estabelecidas pela norma EN 13353/2003, foi calculado o 5º percentil inferior da resistência ao cisalhamento dos corpos-de-prova.

Os resultados foram analisados por meio de ANOVA para identificação de diferença significativa entre os tratamentos propostos e teste de Tukey para comparação de médias. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico *Statgraphics VII*, a 95% de probabilidade, e o delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Massa específica aparente da madeira

Os resultados de massa específica aparente das madeiras de *cryptomeria* e *sequoia* estão apresentados na Tabela 2. O valor médio obtido para a madeira de *sequoia* foi de 0,499 g/cm<sup>3</sup>, sendo estatisticamente superior em relação à madeira de *cryptomeria*, cuja média foi de 0,433 g/cm<sup>3</sup>. As duas espécies podem ser consideradas madeiras de baixa massa específica.

O valor médio de massa específica aparente obtido para madeira de *cryptomeria* está próximo dos valores obtidos por Carpanezi et al. (1988) de 0,400 g/cm<sup>3</sup>, e de 0,358 a 0,417 g/cm<sup>3</sup>. Já o valor médio obtido para *sequoia* foi superior em comparação ao referenciado por Diel et al. (2002) de 0,31 g/cm<sup>3</sup>.

### Propriedades químicas da madeira

Os resultados de teor de extrativos totais e de lignina das madeiras de *cryptomeria* e *sequoia* estão apresentados na Tabela 3. A madeira de *sequoia* apresentou valor médio de extrativos totais de 4,85%, e foi estatisticamente superior em relação à madeira de *cryptomeria*, cuja média foi de 4,01%. Os resultados do teor de lignina não apontaram diferenças significativas entre as médias das duas espécies, cujos valores foram de 32,83% e 31,73%, respectivamente, para *sequoia* e *cryptomeria*.

De uma forma geral, os resultados obtidos para o teor de extrativos totais estão dentro da porcentagem de 2 a 8%, citada por Klock et al. (2005), para madeiras de coníferas. Segundo Pereira et al. (2003) os valores pesquisados para extrativos totais e teor de lignina para madeira de *Cryptomeria japonica* foram respectivamente de 4,9% e 32,7%. Diel et al. (2002) encontrou para *Sequoia sempervirens* os valores de extrativos totais e de lignina de 2,55% e 33,66%, respectivamente.

### Resistência das juntas coladas ao cisalhamento – sem pré-tratamento

Os resultados dos ensaios de cisalhamento, porcentagens de falhas na madeira e 5º percentil inferior das juntas coladas obtidos para os corpos-de-prova sem pré-tratamento estão apresentados na Tabela 4.

O maior valor médio de cisalhamento (10,51 MPa) foi obtido para juntas coladas de *sequoia* com adesivo EPI e gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>, e o menor valor médio (7,10 MPa) obtido para juntas coladas de *cryptomeria* com adesivo PVAc e gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>.

**Tabela 2.** Massa específica aparente da madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens*.  
**Table 2.** Apparent Wood density of *Cryptomeria japonica* and *Sequoia sempervirens*.

MEa (g/cm <sup>3</sup> )	<i>Cryptomeria japonica</i>	<i>Sequoia sempervirens</i>
Valor médio	0,433 <sup>b</sup>	0,499 <sup>a</sup>
Valor mínimo	0,359	0,440
Valor máximo	0,537	0,565
CV (%)	12,28	6,32

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

**Tabela 3.** Valores médios dos teores de extrativos totais e lignina das espécies.  
**Table 3.** Average value of the percentage of total extractives and lignin of both species.

Espécie	Extrativos totais (%)	Lignina (%)
<i>Sequoia sempervirens</i>	4,85a	32,83a
<i>Cryptomeria japonica</i>	4,01b	31,73a

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade.

**Tabela 4.** Resultados de ensaios de cisalhamento – sem pré-tratamento / Interações.**Table 4.** Results of shear tests – without pre-treatment / Interactions.

Tratamento	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)	5º Percentil
1 – CRY x PVA x 150	8,60 <sup>bc</sup> (14,40)	68,50	6,34
2 – CRY x PVA x 200	8,04 <sup>cd</sup> (9,91)	71,00	6,35
3 – CRY x EPI x 150	7,10 <sup>d</sup> (9,31)	73,00	5,91
4 – CRY x EPI x 200	8,16 <sup>cd</sup> (9,46)	87,50	7,51
5 – SEQ x PVA x 150	9,68 <sup>ab</sup> (6,99)	86,50	8,88
6 – SEQ x PVA x 200	9,03 <sup>abc</sup> (13,79)	64,00	6,49
7 – SEQ x EPI x 150	10,26 <sup>a</sup> (9,72)	85,00	8,22
8 – SEQ x EPI x 200	10,51 <sup>a</sup> (11,61)	72,50	8,01
9 – C/S x PVA x 150	9,87 <sup>ab</sup> (10,23)	76,00	8,15
10 – C/S x PVA x 200	9,43 <sup>abc</sup> (5,98)	81,00	8,30
11 – C/S x EPI x 150	8,60 <sup>bc</sup> (13,75)	82,00	7,15
12 – C/S x EPI x 200	8,64 <sup>bc</sup> (6,52)	54,50	7,90
Fonte de variação		F = 10,57	p = 0,0000*

CRY: *Cryptomeria japonica*; SEQ: *Sequoia sempervirens*; C/S: *Cryptomeria japonica/Sequoia sempervirens*; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os valores obtidos nesta pesquisa estão dentro da faixa de valores apresentados na literatura. Lima et al. (2008) encontraram para madeiras de clones de *Eucalyptus* coladas com PVAc, valores de cisalhamento entre 6,98 a 7,94 MPa; Vital et al. (2006) obtiveram para madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com PVAc, valores de 10,24, 9,12 e 5,40 MPa, respectivamente. Já, Iwakiri et al. (2013b) encontraram para madeiras de *Eucalyptus benthamii* coladas com PVAc, valor médio de cisalhamento de 9,04 MPa. Com relação às juntas coladas com adesivo EPI, Almeida (2013) obteve valores de 8,42 MPa para *Pterogyne nitens* (Amendoim) e 6,42 MPa para *Hymenaea* spp. (Jatobá).

Quanto à percentagem de falhas na madeira, os valores variaram na faixa de 54,50% a 87,50%. Plaster et al. (2008) encontraram para juntas coladas de madeiras de *Eucalyptus* spp com adesivo PVAc, percentagem na faixa de 26% a 91%. Iwakiri et al. (2013b) encontraram para juntas coladas de *Eucalyptus benthamii* percentagem média de falhas na madeira de 35,97%.

Os valores médios de 5º percentil inferior

variaram de 5,91 a 8,88 MPa. Embora os resultados estejam acima do valor mínimo de 2,5 MPa, estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2008a), este critério é aplicável apenas para os ensaios após pré-tratamento a úmido.

A análise estatística dos resultados de ensaios de cisalhamento indicou que há diferença significativa para as interações entre as variáveis estudadas, sugerindo a realização de análises dos efeitos principais por meio de arranjo fatorial, para espécies, adesivos e gramaturas.

#### Resistência das juntas coladas ao cisalhamento – com pré-tratamento

Os resultados dos ensaios de cisalhamento, percentagens de falhas na madeira e 5º percentil inferior das juntas coladas após pré-tratamento a úmido estão apresentados na Tabela 5.

O maior valor médio de cisalhamento (5,92 MPa) foi obtido para juntas coladas de sequoia com adesivo EPI e gramatura de 150 g/m<sup>2</sup>, e o menor valor médio (1,92 MPa) obtido para juntas coladas de cryptomeria / sequoia com adesivo PVAc e gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>.

**Tabela 5.** Resultados de ensaios de cisalhamento – com pré-tratamento / Interações.  
**Table 5.** Results of shear tests – after pre-treatment / Interactions.

Tratamento	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)	5º Percentil Inferior
1 – CRY x PVA x 150	2,30 <sup>d</sup> (18,24)	1,00	1,56
2 – CRY x PVA x 200	2,26 <sup>d</sup> (12,77)	0,50	1,68
3 – CRY x EPI x 150	4,52 <sup>bc</sup> (11,76)	47,00	3,78
4 – CRY x EPI x 200	4,73 <sup>bc</sup> (12,55)	58,00	3,78
5 – SEQ x PVA x 150	2,39 <sup>d</sup> (18,47)	0,00	1,80
6 – SEQ x PVA x 200	2,40 <sup>d</sup> (42,44)	0,50	1,44
7 – SEQ x EPI x 150	5,92 <sup>a</sup> (7,88)	36,50	5,35
8 – SEQ x EPI x 200	5,51 <sup>ab</sup> (15,86)	18,00	4,40
9 – C/S x PVA x 150	2,13 <sup>d</sup> (10,93)	0,00	1,75
10 – C/S x PVA x 200	1,96 <sup>d</sup> (11,34)	0,00	1,64
11 – C/S x EPI x 150	4,26 <sup>c</sup> (13,30)	25,40	3,32
12 – C/S x EPI x 200	4,43 <sup>c</sup> (16,93)	90,00	3,30
Fonte de variação		F = 62,82	p = 0,0000*

CRY: *Cryptomeria japonica*; SEQ: *Sequoia sempervirens*; C/S: *Cryptomeria japonica/Sequoia sempervirens*; Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Para efeitos de comparações, existem poucas informações disponíveis na literatura sobre resultados de ensaios de cisalhamento das juntas coladas após pré-tratamento a úmido. Almeida (2013) obteve para algumas espécies de madeiras tropicais coladas com adesivo PVAc e EPI, os seguintes resultados de cisalhamento: *Pterogyne nitens* (Amendoim) – 0,82 MPa (PVAc) e 5,23 MPa (EPI), *Tabebuia* spp. (Ipê) – 0,35 MPa (PVAc) e 1,30 MPa (EPI), e *Hymenaea* spp. (Jatobá) – 0,76 MPa (PVAc) e 6,42 MPa (EPI). Os valores obtidos nesta pesquisa foram satisfatórios em comparação aos valores apresentados por Almeida (2013), principalmente para as juntas coladas com o adesivo PVAc.

Quanto à percentagem de falhas na madeira, para juntas coladas com adesivo PVAc, foram constatadas que as falhas ocorreram na linha de cola, indicando que o pré-tratamento em água fria contribuiu para degradação do adesivo devido à baixa resistência à umidade deste adesivo. Já, o adesivo EPI contribuiu para obtenção de melhores resultados de falhas na madeira, ten-

do os valores médios na faixa de 18% a 90%.

O 5º percentil inferior, que é um importante parâmetro de avaliação da resistência das juntas coladas após pré-tratamento a úmido, apresentou valores entre 3,30 a 5,35 MPa para juntas coladas com adesivo EPI e, de 1,44 a 1,80 MPa para juntas coladas com adesivo PVAc. Todos os valores de 5º percentil obtidos para as juntas coladas com adesivo EPI atendem ao valor mínimo de 2,5 MPa estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2008a). Como parâmetro referencial, Almeida (2013) encontrou para *Pterogyne nitens* (Amendoim), *Tabebuia* spp. (Ipê) e *Hymenaea* spp. (Jatobá), valores de 5º percentil de 3,42, 0,09 e 0,28, respectivamente, para adesivo EPI, e de 2,53, 2,84 e 2,54, para adesivo PVAc.

A análise estatística dos resultados de ensaios de cisalhamento indicou que há diferença significativa para as interações entre as variáveis estudadas, sugerindo a realização das análises dos efeitos principais por meio de arranjo fatorial para espécies, adesivos e gramaturas.

## **Análise das interações dos efeitos principais – espécie, adesivo e gramatura**

Para os ensaios de cisalhamento sem pré-tratamento, a análise estatística entre as espécies indicaram que o valor médio de cisalhamento das juntas coladas de *Sequoia sempervirens* é estatisticamente superior em relação às juntas coladas de *Cryptomeria japônica* e das combinações destas espécies. Não foram constatadas diferenças significativas entre os adesivos PVAc e EPI, e para gramaturas de 150 e 200 g/m<sup>2</sup>.

Para os ensaios de cisalhamento com pré-tratamento a úmido, a análise estatística entre as espécies indicaram que o valor médio de cisalhamento das juntas coladas de *Sequoia sempervirens* é estatisticamente superior às juntas coladas de *Cryptomeria japônica* e das combinações destas espécies.

Na comparação entre os adesivos, as juntas coladas com EPI apresentou média estatisticamente superior em relação às juntas coladas com PVAc. Este resultado demonstra que o adesivo EPI é o mais indicado para a manufatura de produtos colados de madeira que requeiram maior resistência à umidade. Almeida (2013) encontrou também melhores resultados de cisalhamento para as juntas coladas com adesivo EPI em comparação ao PVAc.

Com relação à gramatura, a análise estatística apontou que não houve diferenças significativas entre as juntas coladas com gramaturas de 150 e 200 g/m<sup>2</sup>. Este resultado é importante sobre o ponto de vista econômico devido ao menor consumo de adesivo, sem comprometer a qualidade de colagem. Bila (2014) avaliando a resistência das juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia, não encontrou diferenças significativas entre as gramaturas de 120 e 200 g/m<sup>2</sup>.

## **CONCLUSÕES**

A massa específica aparente média da *Cryptomeria japônica* e *Sequoia sempervirens* foram respectivamente de 0,433 g/cm<sup>3</sup> e 0,499 g/cm<sup>3</sup>, estando próximas dos valores apresentados na literatura.

A madeira de *Sequoia sempervirens* apresentou maior teor de extrativos totais em comparação a *Cryptomeria japônica*. Não foi constatada diferença significativa entre as espécies para o teor de lignina.

As juntas coladas com madeira de *Sequoia sempervirens* apresentaram maior resistência ao cisalhamento.

Não foi constatada diferença significativa entre as gramaturas de 150 e 200 g/m<sup>2</sup>, podendo ser utilizada a menor gramatura, com vantagens econômicas no custo de produção dos painéis EGP.

As juntas coladas com o adesivo EPI, para as duas espécies e duas gramaturas avaliadas, atingiram o valor mínimo de 2,5 MPa do 5º percentil inferior estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2008a).

O adesivo PVAc não apresentou bom desempenho na colagem das juntas após pré-tratamento úmido, apresentando baixa percentagem de falhas na madeira e valores de cisalhamento abaixo do 5º percentil inferior.

Os resultados obtidos indicam o potencial de uso da madeira de *Sequoia sempervirens* para produção de painéis colados lateralmente – EGP, com adesivo EPI e gramatura de 150 g/m<sup>2</sup>.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam seus agradecimentos às empresas Momentive S.A., Henkel Ltda., EPAGRI – SC e MADEM – Bobinas e Madeiras, pelas doações de adesivos EPI, PVAc, madeiras de sequoia e cryptomeria, respectivamente.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS FLORESTAIS. Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012. Brasília, 2013. 146 p.

ALMEIDA, V. C. Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP. 2013. 123 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BILA, N. F. Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia. 2014. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

DIEL, J. L.; MASOTTI, L.; FRIZZO, S. M. B. Estudos de caracterização da *Sequoia sempervirens* para produção de celulose Kraft. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 35., 2002, São Paulo, Anais.... São Paulo: ABTCP. 2002.

- EUROPEAN STANDARD. EN 13353: Solid Wood panels (SWP) – Requirements. Bruxelas, 2008a. 13 p.
- EUROPEAN STANDARD. EN 13354: Solid Wood panels (SWP) – bonding quality. Bruxelas, 2008b. 10 p.
- FARJON, A.; SCHMID, R. *Sequoia sempervirens*. In: IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2013.2. 2013. Disponível em <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 31 jan. 2014.
- GERARD, J.; BEAUCHENE, J.; FOUQUET, D.; GUIBAL, D.; LANGBOUR, P.; THEVENON, M. F.; THIBAUT, A.; VERNAY, M. **Tropix 5.0**: Caractéristiques technologiques de 215 essences tropicales. Montpellier: CIRAD-Forêt, 2004. 1 CD-ROM.
- GILMAN, E. F.; WATSON, D. G. *Sequoia sempervirens*: Coast Redwood. Florida: University of Florida, 2011. 2 p.
- IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUIPEF, 2005. 247 p.
- IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; TRIANOSKI, R.; BRAZ, R. L.; CASTRO, V. G.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO, E.; RANCATTI, H.; SANCHES, F. L. Produção de painéis compensados fenólicos com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n.2, p. 264-270, 2013a.
- IWAKIRI S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D.; VILLAS BÔAS, B. T. 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, 2013b.
- KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 3.ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p.
- LIMA, K. P. L.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 73-77, 2008.
- LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 2010. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453 p.
- PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da Madeira do Cedrinho Japonês**. Colombo: Embrapa florestas, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, n. 88)
- PIZZI, A. **Wood adhesives: Chemistry and Technology**. New York: Marcel Dekker, 1983. 364 p.
- PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAS, R. L. Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251-258, 2008.
- PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (edge glued panels – egp)**. 2010. 113 p. Tese (Doutorado em Ciências florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- SHIMIZU, J. Y.; MAIOCHI, R. A. Criptoméria como espécie alternativa para produção de madeira no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 54, p. 63-70, 2007.
- TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 264**. Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta, 1997.
- TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 204**. Solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997.
- TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 222**. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 2002.
- THOMAS, P.; KATSUKI, T.; FARJON, A. *Cryptomeria japonica*. In: IUCN. **IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2013.2. 2013. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 31 jan. 2014.
- TIENNE, D. L. C.; NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; SILVA, D. B. Qualidade de adesão de juntas de madeira de *Pinus* coladas em condições simuladas de serviço interna e externa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 1, p. 16-29, 2011.
- VICK, C. B.; ROWELL, R. M. Adhesive bonding of acetyled wood. **Adhesion and Adhesive**, Madison, v. 10, n. 4, p. 263-272, 1990.
- VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 637-644, 2006.

Recebido em 20/02/2014

Aceito para publicação em 22/09/2014