

Potencial de uso de madeiras de *Dinizia excelsa* Ducke e *Protium puncticulatum* J.F.Macbr para produção de painéis EGPPotential use of the wood of *Dinizia excelsa* Ducke and *Protium puncticulatum* J.F.Macbr for manufacture of EGP panelsSetsuo Iwakiri¹, Rosilani Trianoski², Ana Paula Namikata Fonte³, Morgana Cristina França⁴, Pâmela Caroline Lau³ e Richard Molleken³

Resumo

Avaliar a qualidade de colagem de madeiras de espécies tropicais é de grande importância para o aproveitamento de peças de pequenas dimensões, provenientes do desdobro de toras, visando a produção de produtos colados de madeira. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência de juntas coladas de madeiras de *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho) e *Protium puncticulatum* (Breu vermelho) com adesivos poliacetato de vinila (PVAc) das classes D3 e D4, melamina-ureia-formaldeído (MUF) e emulsão polimérica de isocianato EPI visando a produção de painéis EGP. Entre as espécies estudadas, a *Dinizia excelsa* apresentou maior resistência ao cisalhamento, mas apenas no teste seco. Não foram constatadas diferenças significativas entre os adesivos. Os resultados dos ensaios a seco demonstraram a viabilidade de uso da madeira de *Dinizia excelsa* e *Protium puncticulatum* para produção de painéis colados lateralmente (EGP), com os adesivos PVA, EPI e MUF, para uso interno. Nos ensaios a úmido, as juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo EPI e *Protium puncticulatum* com adesivo PVA D3, apresentaram indicativos para uso externo, sem contato direto com a água.

Palavras-chave: madeiras tropicais, painéis EGP, adesivo PVAc.

Abstract

Evaluating the bonding quality of tropical wood species is of great importance for the utilization of small pieces from sawing logs, aimed at producing glued wood products. This study aimed to evaluate the strength of the wood bonded joints of *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho) and *Protium puncticulatum* (Breu vermelho) with vinyl polyacetate (PVAc) classes D3 and D4, melamine-urea-formaldehyde (MUF) and emulsion polymer isocyanine (EPI) for EGP production. Among the studied species, *Dinizia excelsa* showed higher shear strength in the dry test. There were no significant differences between the different kinds of adhesives. The results of the dry test showed the feasibility of using wood of *Dinizia excelsa* and *Protium puncticulatum* of EGP with PVA, EPI and MUF adhesives, destined to internal applications. In the wet test, the bonded joints of *Dinizia excelsa* with EPI and *Protium puncticulatum* with PVA D3, showed feasibility to exterior uses without direct contact with the water.

Keywords: tropical wood, edge glued panel, PVAc adhesive.

INTRODUÇÃO

A floresta amazônica no Brasil possui uma grande diversidade de espécies com potencial madeireiro que precisam ser utilizadas de forma racional para obtenção de produtos de madeira. O aproveitamento de resíduos de desdobro de toras em serrarias para produção de painéis colados lateralmente, é uma forma de contribuir para elevar o valor agregado da madeira proveniente de descartes do processo industrial, além de minimizar o impacto da exploração de madeiras nativas. A exploração de um número restrito de espécies de uma área florestal na Amazônia causa impactos

¹Professor titular do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico -80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: setsuo.ufpr@gmail.com.

²Professora Ajudante do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico -80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: rosilani@ufpr.br.

³Mestranda em Tecnologia da Madeira. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico -80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: ana.namikata@gmail.com; pamela.lau@hotmail.com; richard_molleken@hotmail.com.

⁴Doutoranda em Tecnologia da Madeira. UFPR - Universidade Federal do Paraná. Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico -80210170 - Curitiba, PR, Brasil. E-mail: morganaa_franca@hotmail.com.

negativos ao eco-sistema da região, além de aumento nos custos de extração de madeiras para fins comerciais. Pesquisas visando ampliar a gama de espécies para uso industrial, de forma a otimizar a exploração florestal em regime de manejo sustentado, tornam-se necessárias e essenciais para o desenvolvimento regional na Amazônia.

Dentre as inúmeras espécies com potencial madeireiro podem se destacar a *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho) e o *Protium puncticulatum* (Breu vermelho).

A *Dinizia excelsa* Ducke - Fabaceae é uma espécie nativa da América do Sul, sendo encontrada no Brasil, nos Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará e Rondônia, e é conhecida principalmente como Angelim vermelho, sendo comercializada no mercado interno como madeiras para construção civil, construção naval e móveis rústicos (MESQUITA et al., 2009). Possui madeira com cerne castanho-avermelhado e alburno cinza-avermelhado a castanho róseo, tem boa estabilidade dimensional, alta resistência à deterioração, apresenta processamento difícil com serra comum, porém tem excelente acabamento, o que torna essa espécie atrativa para a fabricação de chapas decorativas, construção civil e naval, marcenaria, carpintaria, entre outros. É uma madeira considerada muito pesada com massa específica aparente de 0,95 a 1,00 g/cm³. Destaca-se ainda que esta espécie é resistente ao ataque de fungos e térmitas (MESQUITA et al., 2009; LOUREIRO et al., 1979).

O *Protium puncticulatum* J.F. Macbr - Burseraceae, conhecido como Breu vermelho, é uma das cinco espécies de maior ocorrência na região sul do Pará e uma das dez com maior distribuição na floresta primária e secundária da Floresta Nacional do Tapajós (SANTO, 2003; RIBEIRO et al., 1999). A madeira do *Protium puncticulatum* possui massa específica básica de 0,55 a 0,60 g/cm³, com a coloração variando de marrom acinzentado a marrom avermelhado claro, alburno e cerne pouco distintos, anéis de crescimento indistintos, grã direita, textura média a fina, brilho forte e possui boa trabalhabilidade, sendo utilizada na construção em geral, caixotaria e marcenaria (TOMAZELLO FILHO et al., 1983).

A utilização da madeira sólida apresenta algumas limitações como dimensões, anisotropia e defeitos naturais que afetam as propriedades físicas e mecânicas das peças. Por meio da tecnologia de colagem de madeiras com emprego de adesivos é possível fabricar produtos reconstituídos de madeira, com maiores dimensões, maior estabilidade dimensional e melhor distribuição da resistência mecânica, com ganhos em qualidade e melhor relação custo-benefício (IWAKIRI, 2005).

Dentre os produtos reconstituídos encontram-se os painéis de madeira colados lateralmente ou *Edge glued panel* – “EGP”. O EGP é um painel composto por sarrafos obtidos a partir da madeira serrada e unido por meio de colagem lateral, podendo ou não ser unidos no topo por emendas de tipo “finger joint” (TIENNE et al., 2011). Os principais adesivos empregados na produção de painéis EGP são o poliacetato de vinila (PVA) e emulsão polimérica de isocianato (EPI), sendo que este tem a vantagem de ser mais resistente à umidade ambiente. Os painéis EGP são conhecidos também como painéis de madeira maciça, por utilizarem no seu processo de fabricação pequenas peças de madeira serrada (sarrafos), possui alto valor comercial e são utilizados principalmente na indústria moveleira.

O PVA é resultante da polimerização (em dispersão aquosa) do acetato de vinila. De acordo com Lopes (2008) este adesivo é popularmente conhecido como “cola branca”, sendo muito utilizado pela indústria da madeira e móveis para aplicações de uso interior. O produto colado com PVA 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 poliacetato 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 resina melamina-uréia-formaldeído (MUF) é uma resina composta por uréia - formaldeído (UF) e melamina-formaldeído (MF), sendo classificada como de uso externo para aplicações estruturais. Em sua formulação passou-se a misturar MF em proporções menores com a resina UF a fim de buscar uma otimização na relação custo-benefício, já que a resina UF apresenta uma resistência à umidade muito limitada, enquanto que a resina MF é indicada para a produção de painéis de uso externo ou para ambientes com alta umidade relativa, porém esta resina é um componente de maior custo (IWAKIRI, 2005).

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.

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 é uma importante propriedade para todos os tipos de adesivos, pois a madeira tem uma capacidade tampão muito grande que pode interferir com um ácido ou base do sistema catalisado. Entretanto a sua influência é mais significativa nas prensagens a quente. Já com relação aos extrativos, dependendo da espécie e da condição de secagem da madeira, pode ocorrer a migração e aumento na concentração dos extrativos na superfície da madeira, prejudicando a formação da ligação adesiva. Pode ocorrer também a obstrução de poros da madeira dificultando a absorção do adesivo pela madeira (PIZZI, 1983).

Visando avaliar o potencial de algumas espécies tropicais da Amazônia para produção de painéis colados lateralmente (EGP), este trabalho teve como objetivo analisar a resistência das juntas coladas das madeiras de *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho) e *Protium puncticulatum* (Breu vermelho), confeccionadas com quatro diferentes tipos de adesivos.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas nesta pesquisa madeiras de *Dinizia excelsa* Ducke e *Protium puncticulatum* J.F.Macbr, provenientes da Estação Experimental ZF-2 do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, localizada no Município de Manaus, Estado do Amazonas. Para a colagem das peças de madeira foram empregados os adesivos a base de acetato de polivinila (PVA) classes D3 (Uso interior e exterior não diretamente exposto à umidade) e D4 (Uso interior e exterior, exposto ao tempo com proteção), emulsão polimérica de isocianato (EPI) e melamina-ureia-formaldeído (MUF).

As amostras de madeiras foram obtidas na forma de tábuas coletadas aleatoriamente do desdobro de toras 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 cm (comprimento) x 5,0 cm (largura) x 2,5 cm (espessura), para confecção de juntas coladas, cujas dimensões foram definidas para atender aos procedimentos de ensaios de cisalhamento da linha de cola conforme norma EN 13354/2003 (CEN, 2008b).

A massa específica aparente e teor de umidade da madeira das espécies em estudo foram determinados de acordo com os procedimentos descritos na norma EN 322 e EN 323, (CEN, 2000a, b), respectivamente. O delineamento experimental consistiu em duas espécies e quatro tipos de adesivos: PVAc classe D3, PVAc classe D4, EPI e MUF, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Plano experimental.

Table 1. Experimental plan.

Tratamento	Espécie	Adesivo	Tempo de prensagem (horas)
1	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D3	2
2	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D3	2
3	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D4	2
4	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D4	2
5	<i>Dinizia excelsa</i>	EPI	1
6	<i>Protium puncticulatum</i>	EPI	1
7	<i>Dinizia excelsa</i>	MUF	5
8	<i>Protium puncticulatum</i>	MUF	5

O adesivo foi aplicado com auxílio de um rolo de espuma sobre uma das faces das peças em gramatura de 180 g/m². As duas peças foram prensadas com pressão específica de 1 MPa e tempo de prensagem de 2 horas para os dois tipos de adesivo PVA, 1 hora para o EPI e de 5 horas para o MUF,

conforme recomendações dos fabricantes dos adesivos. Foram confeccionadas três juntas coladas por tratamento, totalizando 24 peças.

Após a colagem e acondicionamento em câmara climática à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$, foram confeccionados os corpos-de-prova para ensaios de cisalhamento da linha de cola. Foram utilizados 15 corpos-de-prova por condição de ensaio, sendo: a seco (acondicionados na câmara climática à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$) e a úmido (após imersão em água à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 h). Os ensaios foram conduzidos de acordo com os procedimentos descritos na norma EN 13354/2003 (CEN, 2008b) e os resultados foram comparados com os requisitos mínimos estabelecidos na norma EN 13353/2003. Após os ensaios de cisalhamento, foram avaliadas também, as percentagens de falha na madeira na superfície de ruptura da linha de cola.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo fatorial (2×4), cujos fatores foram: espécies e adesivos, e a interação entre eles. Os dados foram submetidos aos testes de Grubbs para avaliar a ocorrência de *outliers*, Shapiro Wilks para verificação da normalidade, Bartlett para homogeneidade de variância e Análise de variância. Quando rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias de Tukey, à 95% de probabilidade. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico *Statgraphics VII*, a 95% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Massa específica aparente e teor de umidade da madeira

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios de massa específica aparente e teor de umidade das madeiras das espécies estudadas.

Tabela 2. Resultados de massa específica aparente e teor de umidade da madeira das espécies estudadas.
Table 2. Results of density and moisture content of the wood species studied.

Propriedades	<i>Dinizia excelsa</i>		<i>Protium puncticulatum</i>	
	Massa específica (g/cm ³)	Teor de umidade (%)	Massa específica (g/cm ³)	Teor de umidade (%)
Média	1,01	17,99	0,88	17,90
Mínimo	0,95	17,24	0,81	17,36
Máximo	1,09	18,73	0,94	18,56
CV (%)	3,70	1,98	3,08	1,97

O valor médio de massa específica aparente da madeira de *Dinizia excelsa* foi de 1,01 g/cm³ e da madeira de *Protium puncticulatum* foi 0,88 g/cm³. Para esta espécie, o valor obtido foi superior aos citados na literatura de 0,50 a 0,60 g/cm³. Os coeficientes de variação de 3,70% e 3,08%, respectivamente, podem ser considerados baixos. As espécies são consideradas de alta massa específica e podem afetar negativamente a colagem das peças em função da redução na porosidade da madeira e, conseqüentemente da penetrabilidade do adesivo.

Cabe ressaltar que, as espécies mais empregadas na produção de painéis EGP no Brasil são de baixa e média massa específica, como as apresentadas a seguir: *Tectona grandis* - Teca (0,48 a 0,64g/cm³), *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* (0,32 a 0,34g/cm³), *Eucalyptus grandis* (0,39 a 0,51g/cm³) e *Ocotea porosa* – imbuia (0,63g/cm³) (LOBÃO et al., 2011; MOTTA, 2011).

O teor de umidade das peças de madeira variaram de 17,24% a 18,73% para *Dinizia excelsa* e de 17,36% a 18,56% para *Protium puncticulatum*, com os coeficientes de variação de 1,98% e de 1,97%, respectivamente para as duas espécies. Os valores encontrados estão acima de 12% (norma EN) e 15% (ASTM) para ensaio físico-mecânicos de madeiras, podendo resultar em decréscimo de suas propriedades mecânicas. Entretanto, neste estudo específico, esta variação no teor de umidade da madeira não teria influência significativa, tendo em vista que foram realizados apenas ensaios de colagem por meio de cisalhamento da linha de cola.

Resistência ao cisalhamento – pré-tratamento a seco

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de resistência ao cisalhamento da linha de cola, 5º percentil inferior e percentagem de falhas na madeira após pré-tratamento a seco.

Tabela 3. Resultados de resistência ao cisalhamento – pré-tratamento a seco.**Table 3.** Results of shear strength – dry conditions.

Tratamento	Espécie	Adesivo	Resistência ao cisalhamento (MPa)	5° Percentil Inferior (MPa)	Falha (%)
T1	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D3	16,56 ab (7,04)	14,84	14,50
T2	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D3	15,07 a (11,32)	13,33	44,12
T3	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D4	17,28 ab (9,91)	14,75	12,69
T4	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D4	14,86 a (15,51)	12,33	31,43
T5	<i>Protium puncticulatum</i>	EPI	17,73 b (12,31)	14,73	46,67
T6	<i>Dinizia excelsa</i>	EPI	15,30 ab (14,18)	13,06	82,73
T7	<i>Protium puncticulatum</i>	MUF	15,67 ab (19,66)	11,77	5,00
T8	<i>Dinizia excelsa</i>	MUF	15,08 ab (14,98)	12,56	32,50

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os valores médios de cisalhamento nos ensaios a seco variaram de 14,86 MPa para juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo PVA D4 e 17,73 MPa para juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo EPI.

As juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo EPI (T5) apresentaram valor médio de cisalhamento estatisticamente superior em relação às juntas coladas de *Dinizia excelsa* com PVA D3 (T2) e PVA D4 (T4) e, estatisticamente iguais em relação aos demais tratamentos.

Os valores obtidos nesta pesquisa foram superiores aos apresentados na literatura para madeiras de Eucalipto, Pinus e algumas espécies de madeiras tropicais. Vital et al. (2006) encontraram para madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii*, coladas com PVA, valores de resistência ao cisalhamento de 10,24, 9,12 e 5,40 MPa, respectivamente. Iwakiri et al. (2013) 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 para espécies de madeiras tropicais, valores de 8,42 MPa para *Pterogyne nitens* (Amendoim), 0,37 MPa para *Tabebuia* spp (Ipê), e 6,42 MPa para *Hymenaea* spp (Jatobá).

Quanto à percentagem de falhas na madeira, verificou-se uma grande amplitude de variação nos resultados obtidos. Os valores variaram de 5,00% para juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo MUF e de 82,73% para juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo EPI. Plaster et al. (2008) encontraram para juntas coladas de madeiras de *Eucalyptus* spp com adesivo PVAc, percentagem entre 26% a 91%. Iwakiri et al. (2013) encontraram para juntas coladas de *Eucalyptus benthamii* falhas na madeira de 35,97%. Bila (2014) obteve para juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais, com adesivo EPI, percentagem de falhas na madeira na faixa de 18,75% a 75%. Portanto, os resultados da literatura evidenciam também grandes variações nas percentagens de falhas na madeira.

Os resultados da análise fatorial para o pré-tratamento a seco apresentados na Tabela 4, indicaram diferenças estatisticamente significativas entre as espécies estudadas. As juntas coladas de *Protium puncticulatum* apresentaram maior valor médio de cisalhamento em comparação às juntas coladas de *Dinizia excelsa*. Este resultado pode ser atribuído à menor massa específica da madeira de *Protium puncticulatum*, contribuindo para melhor absorção do adesivo e aumento na resistência ao cisalhamento da linha de cola.

Tabela 4. Análise fatorial para efeito espécie – pré-tratamento a seco.**Table 4.** Factor analysis for species – wet conditions.

Espécie	Resistência ao Cisalhamento (MPa)
<i>Dinizia excelsa</i>	15,10 a
<i>Protium puncticulatum</i>	16,92 b

Com relação aos efeitos dos adesivos, os resultados da análise fatorial apresentados na Tabela 5 não indicaram diferenças significativas entre os adesivos PVA D3, PVA D4, EPI e MUF na resistência ao cisalhamento das juntas coladas. Em termos de médias absolutas as juntas coladas com adesivo MUF apresentaram maior resistência ao cisalhamento, seguidas de juntas coladas com adesivos EPI, PVA D4 e PVA D3.

Tabela 5. Análise fatorial para efeito adesivo – pré-tratamento a seco.
Table 5. Factor analysis for adhesives – dry conditions.

Adesivo	Resistência ao Cisalhamento (MPa)
PVA D3	15,33 a
PVA D4	15,88 a
EPI	16,43 a
MUF	16,57 a

Resistência ao cisalhamento – pré-tratamento a úmido

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados de resistência ao cisalhamento da linha de cola, 5º percentil inferior e percentagem de falhas na madeira após pré-tratamento à úmido.

Tabela 6. Resultados de resistência ao cisalhamento – pré-tratamento a úmido.
Table 6. Results of shear strength – humid conditions.

Tratamento	Espécie	Adesivo	Resistência ao cisalhamento (MPa)	5º Percentil Inferior (MPa)	Falha (%)
T1	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D3	5,01 b (23,21)	3,61	0,00
T2	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D3	5,07 b (31,25)	2,21	0,77
T3	<i>Protium puncticulatum</i>	PVA D4	3,18 a (32,31)	1,65	0,00
T4	<i>Dinizia excelsa</i>	PVA D4	3,18 a (25,85)	2,08	0,00
T5	<i>Protium puncticulatum</i>	EPI	3,14 a (47,98)	1,20	4,00
T6	<i>Dinizia excelsa</i>	EPI	4,11 ab (42,72)	2,57	7,14
T7	<i>Protium puncticulatum</i>	MUF	2,02 a (33,96)	1,53	0,00
T8	<i>Dinizia excelsa</i>	MUF	2,14 a (94,94)	0,95	0,00

Médias seguidas de mesma letra na mesma coluna são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os valores médios de cisalhamento nos ensaios a úmido variaram de 2,02 MPa para juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo MUF e 5,07 MPa para juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo PVA D3.

As juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo PVA D3 (T1) e de *Dinizia excelsa* com adesivo PVA D3 (T2), apresentaram valores médios de cisalhamento estatisticamente iguais em relação às juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo EPI (T6) e, estatisticamente superiores em relação aos demais tratamentos.

Os ensaios de cisalhamento das juntas coladas após pré-tratamento a úmido são pouco realizados como procedimentos padrões para avaliação da qualidade de colagem. 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), com destaque para as juntas coladas com o adesivo PVAc D3.

O 5º percentil inferior é um parâmetro importante de avaliação da qualidade das juntas coladas após pré-tratamento a úmido. Os valores obtidos neste estudo variaram de 0,95 MPa para juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo MUF e 3,61 MPa para juntas coladas de *Protium puncticulatum* com adesivo PVA-D3.

Apenas as juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo EPI e de *Protium puncticulatum* com adesivo PVA-D3 atingiram o requisito mínimo de 2,5 MPa estabelecido pela norma EN 13353, CEN (2008). Como referência, Almeida (2013) encontrou para juntas coladas de *Pterogyne nitens* (Amendoim), *Tabebuia* spp (Ipê) e *Hymenaea* spp (Jatobá), com adesivo EPI, valores de 5º percentil de 3,42, 0,09 e 0,28, respectivamente. Estes valores indicam as variações e limitações de algumas espécies de madeiras tropicais em atender aos requisitos das normas.

Quanto à percentagem de falhas na madeira, os valores obtidos após pré-tratamento a úmido foram muito baixos, havendo descolamentos das juntas coladas de vários tratamentos. Bila (2014) obteve também para juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais com adesivo EPI, baixa percentagem de falhas na madeira, com valores variando na faixa de 3,3% a 33,3%.

Os resultados da análise fatorial para o pré-tratamento a úmido apresentados na Tabela 7, demonstram que não há diferença estatisticamente significativa entre as espécies estudadas. Entretanto, em termos de médias absolutas, as juntas coladas de *Dinizia excelsa* apresentaram maior valor médio de resistência ao cisalhamento em relação às juntas coladas de *Protium puncticulatum*. A menor massa específica da madeira de *Protium puncticulatum* não favoreceu as condições de ancoragem do adesivo na superfície de colagem das peças. O efeito do pré-tratamento com imersão em água pode ter anulado a influência da massa específica na resistência das juntas coladas.

Tabela 7. Análise fatorial para efeito espécies – pré-tratamento a úmido.

Table 7. Factor analysis for species – wet conditions.

Espécie	Resistência ao Cisalhamento (MPa)
<i>Dinizia excelsa</i>	3,97 a
<i>Protium puncticulatum</i>	3,74 a

Com relação aos efeitos dos adesivos, os resultados da análise fatorial apresentados na Tabela 8 não indicaram diferenças significativas entre os adesivos PVA D3, PVA D4, EPI e MUF na resistência ao cisalhamento das juntas coladas. Em termos de médias absolutas, as juntas coladas com adesivo PVA D3 apresentaram maior resistência ao cisalhamento, seguidas de juntas coladas com adesivos EPI, PVA D4 e MUF.

Tabela 8. Análise fatorial para efeito adesivo – pré-tratamento a úmido.

Table 8. Factor analysis for adhesive – wet conditions.

Adesivo	Resistência ao Cisalhamento (MPa)
PVA D3	5,04 a
EPI	3,46 a
PVA D4	3,18 a
MUF	2,08 a

CONCLUSÕES

A madeira das espécies *Dinizia excelsa* (Angelim vermelho) e *Protium puncticulatum* (Breu vermelho) possuem alta massa específica aparente, entretanto, esta característica não influenciou de forma significativa na resistência ao cisalhamento das juntas coladas nos ensaios a seco.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento das juntas coladas nos ensaios a seco, demonstraram a viabilidade de uso da madeira de *Dinizia excelsa* e *Protium puncticulatum* para produção de painéis colados lateralmente (EGP) com os adesivos PVA, EPI e MUF, para uso interno.

Nos ensaios de cisalhamento após pré-tratamento a úmido, apenas as juntas coladas de *Dinizia excelsa* com adesivo EPI e *Protium puncticulatum* com adesivo PVA D3 apresentaram valores de 5º percentil inferior acima do valor mínimo de 2,5 MPa estabelecido pela norma EN 13353, CEN (2008), indicando a possibilidade de uso em ambiente externo sem contato direto com a água.

A análise fatorial demonstrou diferenças significativas entre as espécies apenas nos ensaios a seco, sendo que as juntas coladas de *Protium puncticulatum* apresentaram maior valor médio de cisalhamento em relação à *Dinizia excelsa*. Não foram constatadas diferenças significativas entre os fatores adesivos, tanto para os ensaios a seco, quanto para o úmido.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao INCT/INPA - Madeiras da Amazônia, às empresas Momentive S.A. e Henkel Ltda., pelas doações de madeiras e adesivos utilizados nesta pesquisa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 322: Painéis derivados de Madeira – Determinação do teor de umidade.** Bruxelas, 2000a. 10 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323: Painéis derivados de Madeira – Determinação da massa específica.** Bruxelas, 2000b. 10 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13353: Solid wood panels (SWP) – Requirements.** Bruxelas, 2008a. 13 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 13354: Solid Wood panels (SWP) – bonding quality.** Bruxelas, 2008b. 10 p

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

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, 2013.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R.; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JR., F. G.; CAMARGO NETO, L.; BERMUDEZ, M. A. R. C. **Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras.** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 469-477, 2011.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente.** 2008. 110 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F.; ALENCAR, J. C. **Essências madeireiras da Amazônia.** Manaus: INPA, 1979. 426 p.

MESQUITA, M. R.; FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C. **Angelim vermelho, *Dinizia excelsa* Ducke, Fabaceae.** In: **Manual de Sementes da Amazônia.** Manaus: INPA, 2009. Fascículo 8. 12 p.

MOTTA, J. P. **Pr/opriedades tecnológicas da Madeira de *Tectona grandis* L.f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.** 2011. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2011.

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.

RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; AZEVEDO, C. P. Estudo fitossociológico nas regiões de Carajás e Marabá - Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 29, n. 2, p. 207-222, 1999.

SANTO, F. D. B. E. **Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e de inventários florestais**. 2003. 277 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

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.

TOMAZELLO FILHO, M.; CHIMELO, J. P.; GARCIA, P. V. Madeiras de espécies florestais do Estado do Maranhão: II, caracterização Anatômica. *IPEF*, Piracicaba, n. 23, p. 29-36, 1983.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de juntas coladas com lâmnas de madeiras 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 22/09/2015

Aceito para publicação em 12/02/2016

