

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VANESSA COELHO ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TROPICAL
PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE - EGP**

CURITIBA

2013

VANESSA COELHO ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TROPICAL
PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE - EGP**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri
Coorientadores: Prof. Dr. José Guilherme Prata e Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis

CURITIBA

2013

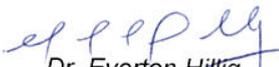


Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da
Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

PARECER

Defesa n.º 991

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) doutorando(a) *Vanessa Coelho Almeida* em relação ao seu trabalho de tese intitulado "**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO DE RESÍDUOS DE MADEIRA TROPICAL PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE - EGP**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Doutor* em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.


Dr. Everton Hillig

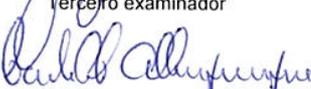
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Primeiro examinador


Dr. Adalberto Matoski

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Segundo examinador

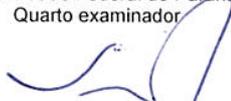

Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos

Universidade Federal do Paraná
Terceiro examinador



Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque

Universidade Federal do Paraná
Quarto examinador


Dr. Setsuo Iwakiri

Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 30 de agosto de 2013.


Antonio Carlos Batista
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Jorge Luis Monteiro de Matos
Vice-coordenador do curso

Dedico este trabalho à minha tia-avó Heloísa Barthelmess que, embora não esteja mais entre nós fisicamente, estará sempre presente no meu coração, como exemplo para a minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Setsuo Iwakiri e aos meus coorientadores Prof. Dr. José Guilherme Prata e Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis pelas importantes orientações.

À empresa Triangulo Pisos, especialmente ao Sr. José Carlos, pela doação dos resíduos de madeira tropical e pelo grande apoio. E à empresa Henkel, especialmente ao Engenheiro Fábio Takayoski Gameiro, e aos estagiários Maiara Kovalski, Cintya Endo e Thiago, pela doação do adesivo, disponibilização do laboratório e pelas orientações.

Ao professor Cesar Taconeli, do Departamento de Estatística da UFPR, por ter dado todo o suporte estatístico necessário para a realização desta pesquisa e, ao professor Eduardo M. O. Lopes, do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR, por ter sido fundamental na correção dos dados de flexão estática.

Aos Professores Dr. Ricardo Jorge Klitzke, Alan Sulato de Andrade, Dimas Agostinho, Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque, Silvana Nisgoski, Graciela Muniz, Mayara Elita Carneiro e Umberto Klock, aos Técnicos Sr. Vitor Daniel Herreira, Sr. Ademir José Cavalli e MSc. Eliane, e aos engenheiros e futuros engenheiros Gustavo, Eduardo, Vinícius, Alexandre e Daniele do laboratório de Química da Madeira, Adriano e Felipe do laboratório de Anatomia da Madeira, Felipe, Bruna, Andrei, Fernando e Mariana do laboratório de Painéis de Madeira pelo imenso apoio, sem o qual este trabalho não poderia ser realizado.

Um agradecimento especial aos meus pais e toda família Coelho Almeida, à minha tia avó Heloísa Barthelmess (*in memoriam*), ao meu tio avô Arthur Barthelmess, às minhas primas Rachel Basílio e Tatiane Coelho, às minhas amigas Virgínia de Senna, Lívia Viana, Cristiane Weber, Maximiana Silva, Raquel Marchesan, Kelly Almeida, Nayara Ribaski, Eliane Moraes, Luciane Terumi, ao meu esposo Alex Hora e aos meus filhos, Helena e Rafael. Todas estas pessoas constituem meu grande tesouro e me sustentaram nos mais diversos momentos desta pesquisa.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado e por acreditar na construção da ciência no país.

BIOGRAFIA

Vanessa Coelho Almeida, filha de Valéria Coelho Almeida e Nelson dos Santos Almeida, nascida no dia 13 de julho de 1982 na cidade do Rio de Janeiro, RJ.

No ano 2000, ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo o curso no ano de 2006.

No ano 2007, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal de Viçosa, concluindo o curso em fevereiro de 2009.

Neste mesmo ano ingressou no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, defendendo sua tese no dia 30 de agosto de 2013.

A arte mais importante do professor é a de despertar a alegria pelo trabalho e pelo conhecimento.

Albert Einstein

RESUMO

O aproveitamento de resíduos de madeira tropical representa, ainda hoje, um grande desafio para pesquisadores e administradores de indústrias madeireiras. Segundo a Associação Nacional de Produtores de Pisos de Madeira, o aproveitamento médio da maioria das indústrias de pisos de madeira sólida é de 51 a 60%. Parte do resíduo gerado pode ser aproveitada para a produção de produtos de madeira de maior valor agregado (PMVA). O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial de uso de resíduos de madeira de seis espécies tropicais (*Pterogyne nitens*, *Patagonula* sp., *Tabebuia* spp., *Hymenaea* spp., *Astronium lecointei* e *Couratari* spp.) provenientes de uma indústria de pisos para produção de painéis EGP. As espécies foram identificadas macroscopicamente e foram determinadas as seguintes propriedades físicas e químicas da madeira: massa específica básica, retratibilidade, teor de extrativos totais e pH. Analisaram-se a viscosidade, teor de sólidos e pH dos adesivos EPI, PU e PVAc, utilizados nas colagens. Foram produzidas juntas laterais e emendas de topo "*finger joint*" com os três adesivos nas gramaturas de 150 e 200 g/m² em prensa carrossel com pressão específica de 8 kgf/cm². Posteriormente, foram realizados ensaios mecânicos das peças coladas para a obtenção dos valores de resistência ao cisalhamento das colagens laterais e à flexão estática das emendas de topo "*finger joint*". Os resultados indicaram que, embora as espécies sejam de média a alta massas específicas e a maioria possuir elevado teor de extrativos e retratibilidade, é possível aproveitar os resíduos destas espécies tropicais para a produção de painéis EGP, quando se utiliza, principalmente, os adesivos EPI e PU. Concluiu-se, também, que o adesivo PVAc é indicado apenas para colagem das emendas de topo "*finger joint*", não apresentando bons resultados para colagem lateral, com exceção da madeira de *Pterogyne nitens*.

Palavras chave: Resíduos de madeira; Espécies tropicais; Paineis Colados Lateralmente (EGP).

ABSTRACT

The use of tropical wood residues is still a great challenge for researchers and administrators of timber industries. According to the National Hardwood Flooring Association (Brazil), the average use of most hardwood floor industries is 51-60%. Part of the residue generated can be used for the production of wood products of higher added value (PMVA). The objective of this research was to evaluate the potential use of wood residues of six tropical species (*Pterogyne nitens*, *Patagonula* sp., *Tabebuia* spp., *Hymenaea* spp., *Astronium lecointei* e *Couratari* spp.) from a wood flooring industry to produce EGP. The species were identified macroscopically and there were determined the following physical and chemical properties of wood: basic specific gravity, shrinkage, extractives content and pH. The viscosity, solids content and pH value of EPI, PU and PVAc adhesives used in gluing process were analyzed. Edge gluing and finger joints were produced using those three adhesives with 150 and 200 g/m² in carousel press with specific pressure of 8 kgf/cm². Subsequently, mechanical tests of glued parts were carried out to obtain the values of resistance to shear strength of edge gluing and to flexure strength of finger joint. The results indicated that, although the species have medium to high densities and most of them have high extractives content and shrinkage, it is possible to use residues from these tropical species to produce EGP, when using mainly EPI and PU adhesives. It is also concluded that the PVAc adhesive is suitable only for finger joints, not showing good results for side gluing, except for timber of *Pterogyne nitens*.

Key-words: Wood residues; Tropical species; Edge Glued Panel (EGP).

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Resíduos de madeira sólida da empresa Triângulo Pisos LTDA	49
Figura 02. Máquina “ <i>finger joint</i> ” da empresa Naderer Madeiras	55
Figura 03. Geometria e dimensões das emendas “ <i>finger joint</i> ”	56
Figura 04. Prensas utilizadas para as colagens. A - Carrossel. B - Alta frequência..	57
Figura 05. Painel formado para avaliação dos ensaios preliminares	58
Figura 06. Desenho esquemático de corpo de prova para ensaio de cisalhamento .	59
Figura 07. Desenho esquemático de corpo de prova para ensaio de flexão estática	60
Figura 08. Extrativos que migraram para a superfície da madeira de ipê (<i>Tabebuia</i> spp.)	73
Figura 09. Correlações entre massa específica básica e resistência ao cisalhamento (MPa) de corpos de prova produzidos com os adesivos EPI (A), PU (B) e PVAc (C)	88
Figura 10. Correlações entre teor de umidade e resistência ao cisalhamento (MPa) de corpos de prova produzidos com os adesivos EPI (A), PU (B) e PVAc (C)	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Requisitos mínimos de resistência à flexão estática (ASTM 5572, 2006)	46
Tabela 02. Descrição anatômica das espécies estudadas.....	64
Tabela 03. Teor de umidade médio das espécies durante o processo de colagem..	67
Tabela 04. Valores médios de massa específica básica das espécies estudadas....	68
Tabela 05. Valores médios de contração máxima tangencial, radial, longitudinal, volumétrica e coeficiente de anisotropia das espécies estudadas	70
Tabela 06. Valores médios dos teores de extrativos totais e pH.....	72
Tabela 07. Valores médios de propriedades físicas e químicas dos adesivos.....	74
Tabela 08. Resistência ao cisalhamento das juntas coladas de ipê com adesivo PVAc	76
Tabela 09. Resistência ao cisalhamento das juntas coladas de tauari com adesivo PVAc	77
Tabela 10. Resistência ao cisalhamento das juntas coladas com adesivo EPI.....	78
Tabela 11. Resistência da colagem lateral ao cisalhamento.....	79
Tabela 12. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das diferentes espécies para os três tipos de adesivos com gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento seco.....	82
Tabela 13. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo EPI nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré- tratamento seco.....	84
Tabela 14. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo PU nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré- tratamento seco.....	85
Tabela 15. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo PVAc nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento seco	87
Tabela 16. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das diferentes espécies para os três tipos de adesivos com gramatura de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento úmido	91

Tabela 17. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo EPI nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento úmido.....	92
Tabela 18. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo PU nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento úmido.....	93
Tabela 19. Resistência ao cisalhamento (MPa) das juntas coladas das seis espécies estudadas com adesivo PVAc nas gramaturas de 150 e 200 g/m ² após pré-tratamento úmido	94
Tabela 20. Resistência das emendas de topo à flexão estática.....	96
Tabela 21. Resistência à flexão estática em função da interação entre espécies e adesivos após pré-tratamento seco.....	98
Tabela 22. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo EPI após pré-tratamento seco	99
Tabela 23. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PU após pré-tratamento seco	99
Tabela 24. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PVAc após pré-tratamento seco	100
Tabela 25. Resistência à flexão estática em função da interação entre espécies e adesivos após pré-tratamento de três ciclos em água	101
Tabela 26. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo EPI após pré-tratamento de três ciclos em água	102
Tabela 27. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PU após pré-tratamento de três ciclos em água	103
Tabela 28. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PVAc após pré-tratamento de três ciclos em água	104
Tabela 29. Resistência à flexão estática em função da interação entre espécies e adesivos após pré-tratamento de fervura	105
Tabela 30. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo EPI após pré-tratamento de fervura.....	106
Tabela 31. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PU após pré-tratamento de fervura.....	107

Tabela 32. Resistência à flexão estática das emendas de topo das seis espécies estudadas com adesivo PVAc após pré-tratamento de fervura.....	107
---	-----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	GERAL	19
2.2	ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA	20
3.1	RESÍDUOS PROVENIENTES DE INDÚSTRIAS DE PISOS DE MADEIRAS TROPICAIS	20
3.2	ESPÉCIES ESTUDADAS.....	22
3.2.1	Amendoim (<i>Pterogyne nitens</i>)	22
3.2.2	Guajuvira (<i>Patagonula</i> sp.)	22
3.2.3	Ipê (<i>Tabebuia</i> spp.).....	24
3.2.4	Jatobá (<i>Hymenaea courbaril</i>)	25
3.2.5	Muiracatiara (<i>Astronium lecointei</i>)	25
3.2.6	Tauari (<i>Couratari</i> spp.).....	26
3.3	PROPRIEDADES DA MADEIRA.....	27
3.3.1	Propriedades anatômicas	27
3.3.2	Teor de umidade.....	29
3.3.3	Massa específica da madeira	30
3.3.4	Variação dimensional	31
3.3.5	Teor de Extrativos.....	32
3.3.6	pH.....	32
3.4	ADESIVOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP	33
3.4.1	Adesivo PVAc.....	33
3.4.2	Adesivo EPI	35
3.4.3	Adesivo PU.....	37

3.5	PROPRIEDADES DOS ADESIVOS	38
3.5.1	Viscosidade	38
3.5.2	Teor de sólidos	39
3.5.3	pH.....	40
3.6	PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)	41
3.7	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS EGP.....	45
3.8	CONDIÇÕES DE USO DO PRODUTO COLADO	46
4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.1	MATERIAL.....	49
4.2	MÉTODOS	51
4.2.1	Descrição anatômica das espécies	51
4.2.2	Determinação das propriedades físicas e químicas dos resíduos de madeira	51
4.2.2.1	Teor de umidade.....	51
4.2.2.2	Massa específica básica.....	52
4.2.2.3	Variação dimensional	52
4.2.2.4	Teor de extrativos	52
4.2.2.5	pH.....	53
4.2.3	Determinação das propriedades dos adesivos.....	53
4.2.3.1	Viscosidade	53
4.2.3.2	Teor de sólidos	54
4.2.3.3	pH.....	54
4.2.4	Produção das juntas coladas.....	54
4.2.4.1	Fase 1.....	54
4.2.4.2	Fase 2.....	57
4.2.5	Determinação da resistência da colagem lateral e de topo	58
4.2.5.1	Ensaio de cisalhamento da colagem lateral	59

4.2.5.2	Ensaio de flexão estática das emendas de topo “ <i>finger joint</i> ”	60
4.2.6	Análise estatística	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
5.1	DESCRIÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES	64
5.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS DE MADEIRA.....	67
5.2.1	Teor de umidade.....	67
5.2.2	Massa específica básica.....	68
5.2.3	Variação dimensional	70
5.3	PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS RESÍDUOS DE MADEIRA.....	72
5.4	PROPRIEDADES DOS ADESIVOS	74
5.5	RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS AO CISALHAMENTO	75
5.5.1	Fase 1.....	75
5.5.1.1	Juntas coladas com o adesivo PVAc.....	75
5.5.1.2	Juntas coladas com o adesivo EPI.....	77
5.5.2	Fase 2.....	79
5.5.2.1	Pré-tratamento para uso em condição seca	82
5.5.2.1.1	Correlações entre massa específica básica e resistência ao cisalhamento	88
5.5.2.1.2	Correlações entre teor de umidade e resistência ao cisalhamento	89
5.5.2.2	Pré-tratamento para uso em condição úmida.....	90
5.6	RESISTÊNCIA DAS EMENDAS DE TOPO À FLEXÃO ESTÁTICA.....	96
5.6.1	Pré-tratamento curado (seco).....	97
5.6.2	Pré-tratamento "três ciclos em água"	101
5.6.3	Pré-tratamento de fervura	104
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	109
	REFERÊNCIAS	111

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos produzidos pela sociedade é uma necessidade e apresenta-se como um desafio para a sustentabilidade ambiental e econômica, e no setor florestal não é diferente. Na transformação da madeira bruta em produtos como peças serradas, painéis, móveis e pisos, são gerados resíduos que variam em dimensão, disponibilidade e qualidade.

Estudos constataam que a geração de resíduos varia entre 50 e 75% no processamento primário de toras de espécies nativas. Este percentual depende, principalmente, da qualidade da matéria prima e do nível tecnológico da serraria ou da laminadora (POLZL *et al.*, 2003; DUTRA, NASCIMENTO e NUMAZAWA, 2005; BRAND, 2010; MELO *et al.*, 2012; MARCHESAN, 2012).

Os processamentos secundários e terciários da madeira, realizados em uma variedade de indústrias que convertem as peças serradas e lâminas em outros produtos, também são importantes fontes de resíduos. Estes, que estão na forma de pó, serragem, maravalha, cavacos, aparas e peças com defeitos, representam de 25 a 56% da matéria prima que entra no processo produtivo (MIYAZAKI, 1989; ANDRADE, 1992; TOMASELLI, 1992; OLANDOSKI, 2001; ECKER *et al.*, 2003; PINTO *et al.*, 2012).

Quando as indústrias não possuem um programa adequado de gestão de resíduos, estes são, geralmente, deixados a esmo ou queimados. A geração de energia a partir destes materiais é uma alternativa viável e até mesmo ecológica; principalmente quando há controle e aproveitamento dos gases oriundos da combustão e correta destinação das cinzas, ou seja, quando o aproveitamento é feito com responsabilidade, sem degradação do meio ambiente. Em muitos casos, a manutenção da caldeira a partir de resíduos da própria fábrica se justifica pelo potencial energético e baixo custo quando comparado à aquisição da biomassa de terceiros.

Nas indústrias de pisos de madeira tropical, o cenário não é muito diferente. PINTO *et al.*, (2012) observaram que cerca de 40% da matéria prima que entra na produção resulta em resíduo. Dentre os diversos tipos, destacam-se os de maiores

dimensões, descartados pelo controle de qualidade das empresas por apresentarem rachaduras, furos de insetos, madeira felpuda, entre outros defeitos.

O aproveitamento dos resíduos nas indústrias de pisos de madeiras tropicais é uma ação que pode resultar em benefícios econômicos e evitar problemas sociais e ambientais, principalmente pelo fato destas indústrias utilizarem como matéria prima madeiras de espécies nativas, mesmo que oriundas de áreas com Planos de Manejo Florestal.

Devido às dimensões das peças comumente inutilizadas pelas fábricas de pisos maciços e ao seu alto valor agregado, sugere-se, como alternativa de aproveitamento deste resíduo, a produção de painéis de colagem lateral, EGP (do inglês "*Edge glued panel*"), muito utilizados em projetos arquitetônicos e pela indústria moveleira.

Os painéis EGP disponíveis no mercado brasileiro são fabricados com peças de pinus, eucalipto, teca e imbuia de diferentes dimensões, em sua maioria, coladas lateralmente com adesivo PVAc (Poliacetato de vinila) e EPI (Emulsão polimérica de isocianato), formados com emendas de topo tipo "*finger joint*".

Sobre a produção de painéis EGP como subproduto da indústria de pisos de madeiras de espécies nativas, não foram encontradas pesquisas publicadas em português, espanhol ou inglês até o presente momento. Também não foram encontrados estudos a cerca da qualidade de colagem de painéis EGP produzidos com resíduos de amendoim (*Pterogyne nitens*), guajuvira (*Patagonula* sp.), ipê (*Tabebuia* spp.), jatobá (*Hymenaea* spp.), muiacatiara (*Astronium lecointei*) e tauari (*Couratari* spp.) e os adesivos PVAc, EPI e PU (adesivo poliuretano monocomponente), embora estas espécies sejam utilizadas há muitos anos no Brasil e em países importadores de madeira de média e alta massa específica.

Diante deste cenário, é importante que pesquisas sejam desenvolvidas a fim de explorar a viabilidade técnica e destinação econômica para resíduos madeireiros, agregando-lhes valor e aumentando o aproveitamento da madeira na indústria.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de uso de resíduos de madeira de seis espécies tropicais – amendoim (*Pterogyne nitens*), guajuvira (*Patagonula* sp.), ipê (*Tabebuia* spp.), jatobá (*Hymenaea* spp.), muiracatiara (*Astronium lecointei*) e tauari (*Couratari* spp.) – para a produção de painéis EGP.

2.2 ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos contemplados por este trabalho foram:

- Caracterizar a anatomia da madeira das espécies utilizadas;
- Caracterizar os resíduos de madeira e os adesivos PVAc, EPI e PU através da determinação de propriedades químicas e físicas importantes para processo de colagem;
- Avaliar a qualidade de colagem de painéis EGP através de ensaios mecânicos de cisalhamento da colagem lateral e flexão estática das emendas de topo “*finger joints*”;
- Analisar as interações entre as variáveis relacionadas à madeira e processo produtivo com a resistência mecânica das ligações adesivas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 RESÍDUOS PROVENIENTES DE INDÚSTRIAS DE PISOS DE MADEIRAS TROPICAIS

Resíduo é todo material descartado nas cadeias de produção e consumo que por limitações tecnológicas ou de mercado, não apresenta valor de uso ou econômico naquele momento, podendo causar impactos negativos ao ambiente quando manejados de maneira imprópria (MANTEGA *et al.* 2012).

Todas as etapas do processamento industrial da madeira geram resíduos. A quantidade de resíduos pode ultrapassar 50% da matéria prima que entra no processo, sendo maior no processamento primário e menor nos processos secundários e terciários da matéria prima ou produtos (BRAND, 2010). Segundo a Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira (ANPM, 2011), o aproveitamento médio da maioria das indústrias de pisos de madeira tropical é de 51 a 60%.

Inúmeros fatores são responsáveis pela geração de resíduos na produção de pisos de madeira. Dadas às limitações de tempo, recursos humanos e financeiros enfrentadas pelas empresas, há necessidade de se identificar os pontos mais críticos, definidos em função do volume gerado e dos riscos associados a cada tipo de resíduo. Mantega *et al.* (2012) identificaram em uma indústria de pisos três principais pontos críticos de geração de resíduos: qualidade da matéria prima madeireira, desenho do produto e materiais tóxicos de acabamento, sendo o primeiro o principal fator gerador.

O uso de planos de gerenciamento que priorizem o controle de qualidade de matérias primas e fornecedores, a diversificação na linha de produtos, a capacitação da mão de obra, e a modernização tecnológica devem minimizar esse problema (PINTO *et al.*, 2012).

O melhor aproveitamento dos resíduos de indústrias de pisos é um dos objetivos do projeto PIMADS (Piso de Madeira Sustentável) que começou em 2011 e está sendo executado pela ANPM, com recursos disponibilizados pela ITTO

(Organização Internacional de Madeiras Tropicais) e conta com a colaboração das seguintes instituições: Ministério das Relações Exteriores, Universidade de São Paulo, EMBRAPA, Serviço Florestal Brasileiro e da Universidade do Estado do Pará (PIMADS, 2013).

Em muitas indústrias, os resíduos estão sendo reaproveitados com pequeno ou nenhum investimento, gerando lucro em oposição à situação anterior. Algumas vendem resíduos para cerâmicas, outros comercializam serragem para cama de frango ou para produção de compostos orgânicos para jardinagem e horticultura. Cascas de árvores são picadas e destinadas à cobertura de vasos e jardins. E recortes e partes desvalorizadas de toras e tábuas são utilizados para artesanatos (LIMA *et al.*, 2008).

O aproveitamento dos resíduos de indústrias e serrarias também pode ser realizado através da produção de painéis colados lateralmente (EGP). Além de ser uma técnica sustentável por utilizar sobras de madeira sólida da própria indústria ou da indústria de terceiros, contribui para o aumento do valor do produto final, sendo classificado como produto de maior valor agregado (PMVA). Resíduos que antes eram descartados ou utilizados como biomassa energética, podem ser levados ao beneficiamento e transformados em produtos de qualidade com aplicação em construções, móveis, pisos, forros, entre outras (FOELKEL, 2008).

Não bastasse o ganho econômico, o reaproveitamento dos resíduos revela posição de racionalidade ambiental e comportamento ecologicamente correto, transmitindo uma imagem amigável da empresa, sempre importante para conquistar certificação e atrair clientes (LIMA *et al.*, 2008).

3.2 ESPÉCIES ESTUDADAS

3.2.1 Amendoim (*Pterogyne nitens*)

A espécie *Pterogyne nitens*, é conhecida pelos seguintes nomes populares: amendoim, amendoim bravo, madeira nova, viraró, pau amendoim, pau de fava, entre outros. A árvore pode chegar a 10-15 m de altura, com tronco de 40-60 cm de diâmetro. Possui folhas compostas pinadas de 10-30 cm de comprimento, com 8-18 folíolos glabros, subcoriáceos, de 4-7 cm de comprimento. A árvore, pela rusticidade e rapidez de crescimento, é ótima para plantios mistos em áreas degradadas de preservação permanente (LORENZI, 2002).

É uma árvore com alto valor ornamental, sendo recomendada para vias urbanas e arborização de rodovias. Sua importância ambiental revela-se pelo aproveitamento em reposição de mata ciliar de áreas com inundações periódicas e revegetação em solos arenosos e degradados (CARVALHO, 1994).

Sua madeira é moderadamente pesada (massa específica aparente de 0,77 g/cm³), dura, textura média, grã direita a irregular, de resistência mediana ao apodrecimento, e apresenta alburno distinto (LORENZI, 2002). Não possui células oleíferas e mucilaginosas, canais intercelulares ou laticíferos, ou tubos taniníferos. Apresenta cristais prismáticos localizados em células dos raios e células do parênquima axial (RICHTER; DALLWITZ, 2009).

É própria para confecção de móveis finos, obtenção de lâminas faqueadas, lambris, para construção civil, como vigas, caibros, ripas, tacos e tábuas para assoalhos, para confecção de carrocerias, interiores de embarcações e vagões, tonéis, barris, tanques, lenha, etc. (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

3.2.2 Guajuvira (*Patagonula* sp.)

Da família Boraginaceae, a guajuvira é uma árvore com distribuição geográfica no sul do Brasil e América do Sul temperada (RICHTER; DALLWITZ,

2009). Segundo Lorenzi (2002), ocorre do noroeste do Rio Grande do Sul até São Paulo, na floresta latifoliada semidecídua da bacia do Paraná. É particularmente frequente no oeste catarinense. Entretanto, a origem da madeira utilizada nesta pesquisa é a região amazônica.

A árvore apresenta altura de 10 a 25 m, com tronco de 70-80 cm de diâmetro. Quando se desenvolve fora da mata ramifica-se intensamente próximo ao solo, adquirindo uma copa inicialmente piramidal. Possui folhas simples, glabras, de 3 a 6 cm de comprimento (LORENZI, 2002).

A madeira é moderadamente pesada e dura, resistente, muito durável, mesmo submersa em água ou enterrada. Lorenzi (2002) encontrou valor médio de massa específica de $0,78 \text{ g/cm}^3$, similar aos valores de Richter e Dallwitz (2009) que variaram entre 0,7 a $0,8 \text{ g/cm}^3$. O cerne pode apresentar coloração escura até chegar quase ao negro (LORENZI, 2002). Possui alborno distinto da cor do cerne. Apresenta microcristais em forma de areia localizados nas células dos raios, células do parênquima axial e fibras (RICHTER; DALLWITZ, 2009).

A madeira apresenta superfície lustrosa e lisa, grã direita a irregular, textura média e cheiro e gosto imperceptíveis, resistência mecânica entre média e alta e retratibilidade média, com coeficiente de anisotropia de 1,91. Sua secagem é de moderada a difícil, com acentuada tendências a rachaduras se as condições forem muito drásticas. Em relação à sua trabalhabilidade, sua elevada massa específica dificulta um pouco o processamento com ferramentas manuais ou com máquinas. Às vezes podem surgir fibras arrepiadas após o aplainamento (IPEF, 2013).

É utilizada na construção civil como viga, caibro, ripa, esquadria, lambri como carvão vegetal; na arborização urbana, como postes, estacas, dormentes, cruzetas; na medicina e também é melífera. Na sua casca é possível encontrar elevadas concentrações de cumarina (IPEF, 2013). Também é largamente empregada em cabos de ferramentas, remos, selas, tacos de bilhar e golfe. Devido a sua boa flexibilidade e elasticidade foi muito utilizada pelos índios do sul para a construção de arcos. A árvore é empregada no paisagismo em geral e é excelente para reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas (LORENZI, 2002).

3.2.3 Ipê (*Tabebuia* spp.)

O gênero *Tabebuia* é objeto de estudo de taxonomistas, visto que apresenta significativas diversidades morfológicas, interpretadas de várias maneiras. Atualmente, admite-se sua inserção na família Bignoniaceae, mais especificamente na tribo Tecomeae (ROSA, 2008).

Os ipês estão entre as espécies mais empregadas para fabricação de pisos de madeira no país. Apresentam madeiras pesadas, duras, de coloração pardo-acastanhada, com seus vasos obstruídos por ipeína (substância de cor amarela-esverdeada). Dentre essas espécies, pode-se mencionar *Tabebuia ochraceae*, *T. impetiginosa*, *T. longifolia* e *T. serratifolia*. Essas madeiras recebem nomes vulgares típicos em suas regiões de ocorrência, como pau-d'arco, da Amazônia até o sul da Bahia; ipê, ipê-amarelo e ipê-roxo, nas regiões Sul e Sudeste; e piúna, piúna-amarela e piúna-roxa, em Mato Grosso e Goiás (ANPM, 2013).

Cerne e alburno distintos pela cor, cerne pardo ou castanho com reflexos amarelados ou esverdeados, alburno branco-amarelado; superfície sem brilho; cheiro e gosto imperceptíveis; alta massa específica (0,8 a 1,2g/cm³); dura ao corte; grã irregular a revessa; textura fina. A madeira de ipê é moderadamente difícil de trabalhar, principalmente com ferramentas manuais que perdem rapidamente a afiação. Recebe bom acabamento. São relatados problemas de colagem. O aplainamento é regular, é fácil de lixar e excelente para pregar e parafusar (RICHTER; DALLWITZ, 2009; ANPM, 2013).

Madeira de porosidade difusa. Vasos dispostos em padrão não específico, agrupados, geralmente em grupos radiais curtos (de 2–3 vasos). Tilos presentes nos vasos de paredes finas. Nos vasos do cerne são encontrados depósitos orgânicos de cor amarela chamados de lapachol ou ipeína. Não apresentam células oleíferas, mucilaginosas, lactíferos, tubos taniníferos ou com sílica. Nas células dos raios são encontrados cristais (RICHTER; DALLWITZ, 2009).

A secagem ao ar é de média a rápida. Apresenta pequenos problemas de rachaduras e empenamentos e a secagem artificial (em estufa) pode agravar a incidência de defeitos (ANPM, 2013).

3.2.4 Jatobá (*Hymenaea courbaril*)

A árvore de jatobá possui altura entre 15-20 m, com tronco de até 1 m de diâmetro. Folhas compostas de dois folíolos brilhantes, de 6 a 14 cm de comprimento. Fruto legume indeiscente, marrom, com 2 a 4 sementes envoltas por uma polpa farinácea de cor amarela e com forte odor. Ocorre do Piauí ao norte do Paraná na floresta semidecídua, tanto em solos de alta como de média fertilidade (LORENZI, 2002).

A madeira é pesada, com massa específica de 0,96g/cm³, muito dura ao corte, de média resistência ao ataque de insetos xilófagos sob condições naturais; alborno branco-amarelado, espesso e nitidamente diferenciado do cerne (LORENZI, 2002).

Apresenta boa resistência mecânica e é moderadamente fácil de trabalhar, pode ser aplainada, colada, parafusada e pregada sem problemas. Apresenta resistência para torneiar e faquear e é considerada altamente resistente aos térmitas e fungos de podridão branca e parda, mas susceptível aos perfuradores marinhos (NAHUZ, 2007).

É empregada na construção civil, como vigas, caibros, ripas; em acabamentos internos, como marcos de portas, tacos e tábuas para assoalhos; para confecção de artigos de esportes, cabos de ferramentas, peças torneadas, esquadrias e móveis. Os frutos contém uma farinha comestível e muito nutritiva, consumida tanto pelo homem como pelos animais silvestres (LORENZI, 2002). O jatobá, assim como o ipê, está entre as espécies mais utilizadas para a produção de pisos de madeira no Brasil (ANPM, 2011).

3.2.5 Muiracatiara (*Astronium lecointei*)

Da família Anacardiaceae, esta espécie possui os seguintes nomes populares: aderno-preto, aroeira, aroeirão, baracatiara, gibatão-rajado, gomável, gonçaleiro, gonçalo, gonçalo-alves, guarabu-do-campo, guarabu-rajado, guaribu-preto, guaritá-rajado, gurubó, jejuera, maracatiara, maracatiara-branca, maracatiara-

vermelha, maracoatiara, muiracatiara, muiracatiara-rajada, muiracoatiara, muiracoatiara-preta, muiraquatiara, pau-gonçalo, sanguessugueira (IBAMA, 2013).

O cerne e o alburno são distintos pela cor, com o cerne variável do bege-rosado ao castanho-escuro-avermelhado com estrias mais escuras; brilho moderado; cheiro e gosto imperceptíveis; massa específica alta; dura ao corte; grã irregular; textura média. É uma madeira muito pesada, e sua massa específica básica é de 0,81g/cm³ (ANPM, 2013). Nahuz (2007) encontrou o valor de 0,97g/cm³ para esta propriedade física da madeira.

A madeira de muiracatiara é muito durável, não sendo atacada por insetos ou cupins de madeira seca. Apresenta baixa contração radial, tangencial e volumétrica e média resistência à flexão estática; entretanto, sua resistência à compressão paralela às fibras e sua dureza Janka é considerada alta. É fácil de ser trabalhada e permite excelente acabamento, recebendo bem pintura e verniz. Na secagem ao ar, a madeira de muiracatiara apresenta problemas de empenamentos e rachaduras. Se a secagem artificial for muito drástica, poderão ocorrer rachaduras profundas e endurecimento superficial (ANPM, 2013).

A muiracatiara é indicada para fabricação de assoalhos, lâminas decorativas, forros, rodapés, embarcações, móveis e artigos domésticos decorativos, torneados, artigos domésticos utilitários, painéis e instrumentos musicais (NAHUZ, 2007; IBAMA, 2013). Embora seja fácil de ser trabalhada, a madeira mostra uma superfície áspera após o aplainamento (NAHUZ, 2007).

3.2.6 Tauari (*Couratari* spp.)

O gênero *Couratari* é encontrado nas matas amazônicas de terra firme, onde ocorrem, dentre outras, as espécies *C. guianensis*, *C. oblongifolia* e *C. stellata*. Pertence à família Lecythidaceae e também é conhecido pelos seguintes nomes populares: tauari-amarelo, tauari-morrão, estopeiro (ANPM, 2013; PAULA; ALVES, 2010).

Possui cerne e alburno indistintos pela cor, branco-amarelado a bege-amarelado-claro; brilho moderado; cheiro variável de pouco perceptível a

perceptível, neste caso, desagradável; gosto levemente amargo; macia ao corte; grã direita; textura média (ANPM, 2013).

Sua massa específica é de 0,5 g/cm³. Apresenta média contração radial, resistência à flexão estática, à compressão paralela às fibras, e média dureza Janka. Apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e cupins). Algumas espécies apresentam tendência a desenvolver mancha azul ocasionada por fungos, devendo ser utilizadas secas e protegidas da umidade. A velocidade da secagem ao ar é moderada, com leve tendência ao empenamento e rachaduras superficiais. A secagem em estufa é rápida, sem defeitos significativos (ANPM, 2013).

A madeira de tauari é moderadamente macia ao corte, apresentando um bom acabamento, apesar de, às vezes, a superfície ficar com aparência felpuda. Algumas espécies possuem sílica, o que contribuiu para desgastar as ferramentas (ANPM, 2013; RICHTER; DALLWITZ, 2009). A madeira é de boa qualidade para uso em compensados, tábuas, carpintaria, saltos de sapatos e caixotaria (PAULA; ALVES, 2010).

3.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA

Tanto as propriedades anatômicas, quanto as físicas, químicas e mecânicas da madeira são importantes para o processo de colagem e desempenho dos produtos colados. As propriedades apresentadas a seguir são as de principal influência no painel EGP.

3.3.1 Propriedades anatômicas

Sobre a relação entre a estrutura anatômica da madeira e suas propriedades e comportamento tecnológico, Burguer e Richter (1991) enfatizaram algumas limitações práticas da madeira: sua heterogeneidade, anisotropia e variabilidade. São características que, na prática, dificilmente podem ser controladas.

A influência da anatomia na qualidade de colagem de peças de madeira está relacionada principalmente à sua estrutura. As dimensões, a distribuição e a frequência das diferentes células que constituem o lenho estão relacionadas à porosidade e à permeabilidade da madeira e, conseqüentemente, influenciam a qualidade de colagem entre peças de madeira (IWAKIRI, 2005).

A mobilidade do adesivo é influenciada pela constituição dos anéis de crescimento, pela variação de cerne e albúrnio na peça a ser colada, pela presença de lenho juvenil e lenhos de reação, grã e porosidade da madeira (IWAKIRI, 2005).

A maior penetração do adesivo na madeira se dá, principalmente, por meio dos elementos estruturais que desempenham, primordialmente, a função de condução no lenho: os vasos e os raios nas folhosas. Nessas, aspectos anatômicos como tamanho, abundância, distribuição dos poros e a presença ou não de substâncias obstrutoras (gomo-resinas, óleos, tilos) influem no grau de permeabilidade, podendo dificultar o processo de colagem (BURGER; RICHTER, 1991).

O lenho inicial de espécies com porosidade em anel, por exemplo, é nitidamente mais permeável do que o lenho tardio. E o parênquima axial é mais permeável do que as fibras e, portanto, as proporções com que estes elementos ocorrem no lenho repercutem sobre esta característica. A própria estrutura geral da madeira (com a maioria dos elementos constituintes disposta verticalmente no tronco) explica o fato de que a permeabilidade é maior no sentido axial do que no sentido transversal (BURGER; RICHTER, 1991).

Além da porosidade, presença de extrativos e permeabilidade, Burger e Richter (1991) lembram que a textura grosseira da madeira resulta em adsorção de grande quantidade de adesivos, resultando em baixa qualidade de colagem. Ao contrário, madeiras de estrutura muito fechada e superfícies lisas, haverá deficiência de penetração do adesivo, reduzindo a área específica de colagem e acarretando, conseqüente, linha de cola fraca.

River (1994) cita que o desvio da grã afeta, entre outros, a resistência ao cisalhamento da junta colada. Esta resistência será maior quando a direção da grã é a mesma da força aplicada. Este efeito é devido à disparidade entre as forças de tração e compressão da madeira e à penetração do adesivo. Quando a direção da grã não é paralela à superfície, é muito provável que o adesivo penetre profundamente na madeira.

3.3.2 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira é um importante fator para a colagem de madeira para todos os tipos de adesivos aplicados na indústria da madeira e móveis, como os adesivos PVAc e poliuretanas, que reagem distintamente em relação ao conteúdo de umidade (LOPES, 2008).

A influência da proporção de umidade da madeira na formação da ligação adesiva está relacionada com a quantidade e o ritmo de adsorção do adesivo líquido pela madeira. Quanto menor o conteúdo de umidade da madeira, maior será a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo (IWAKIRI, 2005).

Durante o processo de colagem, a madeira não deve apresentar elevado teor de umidade, principalmente aquela com alta massa específica, visto que a redução do teor de umidade, que ocorre naturalmente para atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente, ocasiona contrações que podem resultar em defeitos e tensões na linha de cola (MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005).

De modo geral, o teor de umidade da madeira recomendado durante o processo de colagem com adesivos PVAc deve estar entre 8 e 12%, em concordância com o boletim técnico da Henkel para o adesivo PVAc DORUS KL 245A (HENKEL, 2010a).

A maioria dos adesivos para madeira não forma uma linha de cola satisfatória em teores de umidade acima de 20%. O conteúdo de umidade do substrato, quando da colagem, é um fator muito importante para se obter ligações que apresentem um comportamento adequado em serviço (SILVA *et al.*, 1998).

Os adesivos poliuretanos se comportam de maneira diferente: o teor mínimo de umidade da madeira recomendado para a colagem é 8%. Esta particularidade deve-se ao fato do adesivo reagir com a umidade da madeira e do ar e, dessa forma, quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, mais rápido será a reação do adesivo pMDI (GARCIA; LOPES, 2004).

3.3.3 Massa específica da madeira

Durante a colagem de peças de madeira, a quantidade e a distribuição dos vasos na madeira influencia na sua habilidade para absorver água e outros solventes dos adesivos, assim como na área de adsorção dos adesivos pela madeira (PIZZI; MITTAL, 1994).

Iwakiri (2005) afirma que madeiras de baixa massa específica e alta porosidade são melhores umectadas. Entretanto, esta condição pode resultar em linha de cola “faminta”, isto é, penetração excessiva do adesivo, diminuindo a qualidade da colagem.

Madeiras de alta massa específica apresentam menor volume de espaços vazios para a circulação de fluidos como os adesivos (BURGER; RICHTER, 1991). Quanto maior a dificuldade de penetração do adesivo na madeira, menor é adesão mecânica neste substrato (VICK, 1999).

Outro efeito importante da massa específica da madeira é no que se refere à sua alteração dimensional. Madeiras de alta massa específica apresentam maiores alterações dimensionais com mudanças no conteúdo de umidade, gerando maiores tensões na linha de cola (IWAKIRI, 2005).

Vick (1999) afirma que a resistência das ligações adesivas cresce com o aumento da massa específica da madeira até um limite de 0,7 a 0,8g/cm³. Acima deste valor a resistência da ligação decresce.

Sellers Jr. (1994) explica que dependendo do tipo de adesivo e da massa específica da madeira, o adesivo pode penetrar por três a cinco células, preenchendo as células abertas ou cobrindo suas paredes internas. Para valores muito elevados de massa específica tem-se uma reduzida penetração do adesivo. E quanto maior a resistência mecânica da madeira, maior a probabilidade de ocorrer ruptura na linha de cola quando a junta for solicitada a um esforço mecânico. Portanto, o uso de madeiras de maior massa específica geralmente exige melhor qualidade do adesivo e dos procedimentos de colagem.

3.3.4 Variação dimensional

A variação dimensional da madeira diz respeito às contrações e ao inchamento da madeira. As características de retração da madeira são bastante diferentes entre as espécies e depende do modo de condução da secagem e do próprio comportamento da madeira, o que leva ocasionalmente a alterações da forma e à formação de fendas e empenos. Precauções especiais devem ser tomadas em situações que exigem a estabilidade da madeira. Em edificações, pisos, esquadrias, portas e móveis em geral, podem ocorrer sérios prejuízos, chegando, mesmo, a inviabilizar o produto final se a secagem não for realizada até a umidade de equilíbrio das condições de uso (A RETRATIBILIDADE, 2001).

Em relação à variação dimensional na direção transversal (radial e tangencial), há um desequilíbrio entre os valores de contração. Tal desbalanceamento entre as contrações é chamado de anisotropia ou fator anisotrópico, e ele é medido pela razão entre a contração na direção tangencial pela contração na direção radial. A anisotropia é uma característica que pode limitar o uso da madeira sólida (IWAKIRI, 2005; BURGER; RICHTER, 1991). A situação ideal seria aquela em que as tensões decorrentes da natureza anisotrópica se anulassem segundo as direções em que a contração se manifestasse, o que, na prática, raramente acontece. A grande importância do fator anisotrópico é que, quanto maior for o seu distanciamento da unidade, maior a probabilidade da madeira sofrer fendilhamento e empenamento (A RETRATIBILIDADE, 2001).

Segundo Rezende *et al.* (1995), quanto mais próximo do centro de um disco for colhido um corpo de prova para determinação da variação dimensional da madeira, menor será a diferença entre contração tangencial e radial, ou seja, menor o fator de anisotropia. Há ainda outros fatores que podem influenciar nesta relação: diâmetro do disco, idade da árvore, espécie e variedade.

Glass e Zelinka (2010) concordam que a contração da madeira é afetada por diversas variáveis e citam que um coeficiente de variação de, aproximadamente, 15% caracteriza a variabilidade da contração da madeira. Estes autores ainda acrescentam que, geralmente, a maior contração está associada à maior massa específica da madeira, entretanto, o tamanho e a geometria da madeira, assim como a velocidade de secagem também pode afetar a contração de algumas espécies.

Rezende *et al.* (1995) afirmam que o diâmetro do disco, a idade da árvore e a variedade são fatores que influenciam na variação dimensional da madeira. De acordo com estes autores, quanto mais próximo do centro de um disco for colhido um corpo de prova para determinação da retratibilidade da madeira, menor será a diferença entre contração tangencial e radial, ou seja, menor o fator de anisotropia. Entretanto, Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) não encontraram padrão definido para a variação da retratibilidade na direção medula-casca da madeira, ao avaliar sete espécies de eucalipto.

3.3.5 Teor de Extrativos

As cavidades das células da madeira seca são forradas com diferentes extrativos da madeira (nutrientes, compostos orgânicos produzidos pelas árvores e minerais absorvidos pelas raízes). Dependendo das propriedades físicas e químicas dos extrativos, eles podem facilitar ou dificultar o processo de colagem da madeira com adesivos (PIZZI; MITTAL, 1994). Os extrativos, que definem o pH (potencial hidrogeniônico) da madeira, podem acelerar a reatividade de adesivos como a ureia formaldeído, por exemplo. Eles impregnam a superfície da madeira, podendo impedir a aproximação necessária para que ocorra a adesão.

Iwakiri (2005) afirma que a presença de extrativos em excesso ou extrativos apolares (terpenos, ácidos graxos) e condições da superfície da madeira a ser colada podem prejudicar a umectação da madeira pelo adesivo, ou seja, o adesivo pode ter dificuldades para recobrir a superfície submicroscópica da madeira.

3.3.6 pH

O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se entre 3 e 6. Pode ocorrer mudanças de pH dentro de uma peça de madeira em função da migração de extrativos de camadas mais internas para camadas superficiais alterando as condições de colagem (SELLERS JR., 1994; IWAKIRI, 2005).

O valor de pH é uma característica que tem influência em vários campos do aproveitamento da madeira como, por exemplo, na corrosão de metais em contato com a madeira, na fixação de determinados produtos preservantes, na coloração de algumas madeiras expostas à radiação solar e na fixação de lacas e vernizes sobre sua superfície (ALBIN, 1975 citado por PRATA, 2010).

3.4 ADESIVOS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS EGP

Iwakiri (2005) enfatiza a importância dos adesivos por contribuir de forma direta na conservação de recursos florestais, pois possibilita o aproveitamento integral da madeira.

Os adesivos utilizados para a colagem de madeiras podem ser classificados em adesivos naturais, sintéticos termoplásticos e sintéticos termorrígidos. Os adesivos naturais foram as primeiras substâncias empregadas como adesivos: lama, argila, ceras, sangue, ovos, caseína, amido, entre outros. Os adesivos sintéticos termoplásticos são reversíveis quando expostos à temperatura, pois amolecem quando aquecidos e endurecem quando resfriados. Já os adesivos termorrígidos endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores e sofrem modificações químicas e físicas irreversíveis, que os tornam rígidos, insolúveis e resistentes à umidade e ao calor (IWAKIRI, 2005; FIORELLI, 2002; MARRA, 1992)

3.4.1 Adesivo PVAc

O adesivo Poli (acetato de vinila) ou acetato de polivinila - 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 (IWAKIRI, 2005). Segundo Sellers Jr (1994), devido à sua resistência a bactérias, este adesivo começou a substituir o adesivo natural produzido com caseína em 1940.

Suas principais vantagens são: baixo custo, facilidade e segurança no manuseio, inodoro, não inflamável, de secagem rápida e alta estabilidade (IWAKIRI, 2005).

É um adesivo sintético de rápida cura e utilizado em larga escala na forma de dispersão da resina sólida em água (SELLERS JR., 1994). É vulgarmente conhecido como “cola branca”, embora sua cor seja branco amarelado (IWAKIRI, 2005).

O adesivo de PVAc é muito difundido na colagem da madeira, pois apresenta amplo espectro de utilização, incluindo colagem de painéis sarrafeados, emendas “*finger joint*”, laminação e na montagem dos componentes dos móveis, tais como cavilhas, montantes, quadros, molduras, etc. (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

O teor de sólidos médio do PVAc está entre 40 a 60%. Devido à amplitude desse teor e à variação de outros tantos fatores do processo de colagem, são necessários ajustes no tempo de assemblagem e de prensagem (GARCIA; RECH, 2011).

O teor de sólidos também está relacionado com a temperatura mínima de formação da linha de cola que é específica para cada formulação. Abaixo de certa temperatura, embora a água seja eliminada, as partículas do poli (acetato de vinila) não conseguem se unir e o filme adquire aspecto esbranquiçado e não homogêneo conhecido popularmente como ponto branco (GARCIA; RECH, 2011). De acordo com Iwakiri (2005), o teor de sólidos varia entre 51 e 55%, e o pH ente 4,0 e 5,0.

A temperatura mínima de formação da linha de cola de PVAc varia desde temperaturas abaixo de 0°C até entre 10-15°C positivo, dependendo da adição ou não de aditivos específicos na formulação do adesivo. No geral, para uso a quente, esta temperatura de formação da película fica ao redor de 10 a 15°C, e para uso a frio pode situar abaixo de 0°C. Portanto, em clima de inverno ou de verão, o adesivo PVAc pode ser utilizado em colagens de madeira (GARCIA; RECH, 2011). Sua cura pode ser a frio ou a quente (incluindo alta frequência) (IWAKIRI, 2005).

Segundo Garcia e Rech (2011) a viscosidade do adesivo PVAc pode variar desde 200 cP para adesivos com aplicação por pistola, até 20.000 cP para uso em substratos muito porosos. Iwakiri (2005) menciona uma faixa de viscosidade mais restrita variando de 6.000 a 8.000 cP. Já para o Boletim Técnico do adesivo utilizado nesta pesquisa (PVAc – nome comercial DORUS KL 245A), a viscosidade do adesivo PVAc é de aproximadamente 4.000 cP (HENKEL LTDA, 2010a).

O adesivo PVAc se estabelece principalmente pela perda de água por difusão da película adesiva na madeira. Devido à sua natureza polar, ocorre o umedecimento e a penetração do adesivo na madeira (VICK e ROWELL, 1990).

Ao eliminar a água de sua composição, a sua estrutura química se une formando uma linha de cola homogênea e contínua. Portanto, a porosidade de pelo menos um dos substratos a colar é uma condição para que ocorra a umectação, absorção e penetração do adesivo, proporcionando assim resistência da colagem e elasticidade da junta adesiva (GARCIA; RECH, 2011).

Por ser termoplástico, o adesivo PVAc destaca-se por formar uma película sem variação dimensional da superfície colada. Ao contrário, o adesivo ureia-formaldeído de natureza termorrígido e de cura a quente, tende a produzir tensões na linha colada, principalmente quando existe a diferença de coeficiente de dilatação entre o laminado e o substrato (GARCIA; RECH, 2011).

O álcool polivinílico e o acetato de polivinil são importantes matérias primas para adesivos de madeira. Frequentemente usados em juntas adesivas, apresentam elevada resistência de colagem, aplicação rápida e linhas de cola incolores além de não emitirem formaldeído a atmosfera. A resistência à água e à temperatura é aprimorada pela adição de copolímeros (SELLERS JR., 1994).

3.4.2 Adesivo EPI

O adesivo EPI (Emulsão Polimérica de Isocianato) é um adesivo bicomponente, formado por uma base de poli (acetato de vinila) e um isocianato polimérico (difenílmetano-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 (SELLERS JR., 1994).

A emulsão permite que polímeros de alto peso molecular sejam utilizados enquanto mantém uma solução de baixa massa específica para ser facilmente aplicada. Como todos os sistemas bicomponentes, a proporção da mistura adequada é importante (FRIHART, 2005).

Sua coloração é branca, mas seu catalisador apresenta-se com coloração marrom. Juntos, formam uma linha de cola incolor. Sua cura se dá a temperaturas

ambiente e elevada, podendo ser utilizadas as prensas quente e à alta frequência. Para atingir uma boa qualidade de colagem é necessário aplicação de elevada pressão (CONNER, 2001).

Devido à elevada reatividade deste adesivo, o tempo de aplicação deve ser ajustado de acordo com a recomendação do fabricante. Entretanto podem ser utilizados equipamentos tradicionais para colagem de madeira (LOPES, 2008).

Os isocianatos, juntamente com a ureia e o fenol formaldeído, são os adesivos termorrígidos mais utilizados para colagem de madeira (CONNER, 2001). Os adesivos aquosos a base de isocianato (EPI) estão ganhando cada vez mais a aceitação do mercado mundial para uma grande variedade de aplicações estruturais e não estruturais, sendo uma alternativa viável para colagem de emendas dentadas (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

De acordo com o Boletim Técnico do adesivo EPI utilizado nesta pesquisa (HENKEL LTDA, 2010b), este adesivo possui aproximadamente, as seguintes propriedades físicas: líquido de coloração creme, teor de sólidos de 50%, viscosidade Brookfield de 10.000 cP, odor característico, massa específica de 1,2 g/cm³ e pH 7,0. Ele é caracterizado como um adesivo bicomponente aquoso, à base de polímeros sintéticos, formulado para longo *pot life* e boa estabilidade, e excelente resistência a altas temperaturas, água e solvente.

Segundo Zimmerman (2006) a resina EPI é resistente, mas apresenta flexibilidade, tem uma colagem forte, alta resistência ao calor, à água e solventes, contribuindo para a durabilidade da madeira. Outra característica da resina é a cura rápida que permite maior produtividade e processamento rápido. O adesivo gera emissão zero de formaldeído e outros gases perigosos no ar.

De acordo com Frihart (2005), estes adesivos podem formar ligações razoavelmente duráveis dependendo da formulação; alguns são conhecidos por apresentar boa resistência à água. A capacidade para colar plásticos e outros substratos é uma vantagem desta resina frente a outros adesivos para madeira. O alto custo e a necessidade de misturar os dois componentes antes do uso são suas desvantagens.

É muito utilizado na colagem de vigas laminadas para uso interno e externo, para colagem de lâminas de madeira em plásticos e metais; em portas e materiais arquitetônicos (CONNER, 2001).

3.4.3 Adesivo PU

Em 1849, Wurtz divulgou a síntese em laboratório de uma substância que denominou uretano (ou uretana), sendo este o produto da reação química entre um grupo isocianato e outra substância com o grupo hidroxila (VILAR, 1999). No entanto, essa descoberta somente teve aplicação comercial no século XX, após Otto Bayer desenvolver na Alemanha os primeiros polímeros de uretanos, os PUs, na década de 40 (CANGEMI *et al.*, 2009).

A polimerização dos uretanos ocorre quando se reage uma substância - com dois ou mais isocianatos - com um álcool polifuncional, ou seja, um poliálcool (CANGEMI *et al.*, 2009).

De acordo com Gao *et al.* (2005), o isocianato reage fortemente com os grupos hidroxila da madeira formando os carbamatos. Os carbamatos formados reagem com o isocianato, de forma que quanto mais carbamato é formado, mais forte é a ligação do isocianato com a madeira. Entretanto, quando a madeira contém umidade, ocorre uma reação competitiva, pois o isocianato também reage com a água formando a poliuréia e dióxido de carbono (CO_2), dificultando a formação de carbamato, o que diminui a eficácia na ligação do isocianato com a madeira. E a produção de dióxido de carbono pode provocar a expansão do polímero (CLARO NETO, 1997).

Na fabricação dos PUs, utilizam-se principalmente di ou poliisocianatos e os compostos de poliálcool. No mercado, são encontrados diversos tipos de isocianatos alifáticos e aromáticos. No entanto, cerca de 95% de todos os isocianatos consumidos são derivados do tolueno diisocianato (TDI), do difenilmetano diisocianato (MDI) e do polimetileno polifenil poliisocianato (MDI polimérico ou pMDI) (BRUINS, 1969). Na indústria florestal, o pMDI é vulgarmente conhecido como MDI ou simplesmente “isocianato” (FRAZIER, 2003).

Na fabricação de PUs, utiliza-se uma grande variedade de polióis como poliéteres, óleo de mamona, polibutadieno líquido com terminação hidroxílica, entre outros. A maior parte dos polióis utilizados na indústria de PUs são poliéteres ou poliésteres hidroxilados (CANGEMI *et al.*, 2009).

A reação química do poliuretano durante o processo de colagem ocorre em duas fases. Inicialmente, ocorre uma mudança de estado físico de líquido para sólido e o adesivo assume comportamento termoplástico. Posteriormente, o grupo químico

isocianato presente no adesivo reage com o grupo hidroxílico (OH) da madeira e com umidade do ar e da madeira e assim, produz uma estrutura reticular semelhante à de um adesivo termorrígido. Nesta segunda fase, o adesivo assume alta resistência a calor, frio e solventes (GARCIA; RECH, 2011).

Portanto, por reagirem com a umidade da madeira e do ar, os adesivos poliuretanos devem ser aplicados diretamente numa superfície preferencialmente úmida. Eles são resistentes à água e à atmosfera úmida, mas possuem resistência limitada à prolongada e repetida umidificação e secagem (CONNER, 2001).

Os adesivos poliuretanos exigem menor temperatura de prensagem e apresentam grande resistência ao frio chegando a manter uma boa adesão em temperaturas na ordem de 30 a 50°C negativos, e a resistência final da colagem se obtém em um curto período, sendo que após o primeiro dia de colagem já atinge em torno de 50% do seu valor máximo (GARCIA; RECH, 2011).

Segundo estes mesmos autores, o adesivo PUR - Poliuretano Reativo a Umidade - é muito eficiente na colagem de grandes obras de madeira tais como: pontes, coberturas, vigas, portas, janelas, entre outras. A polaridade e capacidade de formar pontes de hidrogênio do grupo uretano dá aos adesivos de poliuretanos uma melhor aderência a uma variedade de superfícies, incluindo madeira e metal.

3.5 PROPRIEDADES DOS ADESIVOS

3.5.1 Viscosidade

A viscosidade dos adesivos é uma importante propriedade que serve como parâmetro de qualidade do adesivo para sua utilização e influencia na performance do produto colado. Ela pode ser definida como a resistência ao fluxo livre entre camadas de uma matéria, ou ainda, a grandeza que caracteriza a existência de atrito entre as moléculas de um fluido e que se manifesta através do escoamento (IWAKIRI, 2005).

Embora a viscosidade seja interpretada, principalmente, pela mobilidade do adesivo na linha de cola ela também é importante para estabelecer limites para ações dependentes do tempo durante o processo de colagem (MARRA, 1992).

Recomenda-se o controle de viscosidade do adesivo em função da porosidade da madeira para que haja penetração adequada do adesivo na sua estrutura lenhosa. Quando a viscosidade do adesivo é muito alta, sua distribuição uniforme sobre a madeira é dificultada; ocorre insuficiente penetração do adesivo, podendo originar uma linha de cola muito espessa. A baixa viscosidade resulta em excessiva absorção do adesivo pela madeira, diminuindo a qualidade de colagem com a formação de linha de cola “faminta” (FRUHWALD, 1977, citado por MOREIRA, 1985).

Para evitar a linha de cola faminta, além da viscosidade do adesivo, deve-se controlar a pressão de colagem que não pode ser muito elevada. Quando o adesivo entra em contato com a superfície, a sua viscosidade deve ser baixa o bastante para que ele flua sobre as irregularidades da superfície da madeira e estabeleça uma boa adesão. Se o adesivo é aplicado apenas em uma das superfícies, sua viscosidade deve permanecer baixa até que a segunda superfície entre em contato com o adesivo da primeira (RIVER; OKKONEN, 1991).

3.5.2 Teor de sólidos

O teor de sólidos é definido como a quantidade de substâncias sólidas que formam a linha de cola propriamente dita, após volatilização dos constituintes líquidos do adesivo. É a linha de cola a responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões geradas no sistema madeira-linha de cola (IWAKIRI, 2005).

A velocidade com que ocorre a formação da película adesiva está relacionada com o teor de sólidos do adesivo. Portanto, para o adesivo PVAc, por exemplo, quanto maior o conteúdo de água no adesivo mais lento é a formação da película (GARCIA; RECH, 2011).

O teor de sólidos, assim como o peso molecular do adesivo, o tipo e a quantidade de carga, o tipo e a quantidade de líquido dispersante e catalisador afetam a consistência do adesivo (RIVER; OKKONEN, 1991).

Goulding (1983) afirma que para colagem de madeiras tropicais é recomendado o uso de adesivos com elevado teor de sólidos quando as peças de madeira forem coladas com adesivos PVAc.

3.5.3 pH

Segundo Iwakiri (2005), os adesivos devem manter os limites de pH na faixa de 2,5 a 11, pois valores extremos podem resultar em degradação das fibras de madeira. Cada adesivo é produzido com pH específico, e destinado a produzir uma determinada solubilidade, velocidade e grau de solidificação.

Marra (1992) afirma que as formulações adesivas têm pH característico do tipo de adesivo ou varia para se adequar a uma necessidade particular. O pH regula, entre outras características, a solubilidade e a cura dos adesivos e até certo ponto, o desempenho da colagem.

O controle do pH durante a produção do adesivo é uma das importantes funções do controle de qualidade, pois ele determina a velocidade e o grau das reações e as configurações das moléculas. O pH também determina a validade dos adesivos (MARRA, 1992).

Com frequência, a função de catalisadores é mudar o pH para permitir que a cura do adesivo ocorra. E pode ser necessária a adição de soluções tampão no adesivo para proteger e manter seu pH, pois os extrativos da madeira pode interferir no pH do adesivo quando este forma a linha de cola. Quando o pH do adesivo é menor que 3, existe a possibilidade de uma degradação ácida da madeira e, por este motivo, adesivos de pH muito baixo são evitados (MARRA, 1992).

3.6 PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE (EGP)

O painel EGP (do inglês “*Edge Glued Panel*”, painel colado lateralmente) é caracterizado por um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente e nos topos através de emendas “*finger joints*” (IWAKIRI, 2005). Estas emendas necessitam de equipamentos específicos para sua produção, mas tem como vantagem facilitar a retirada de defeitos da madeira e a aplicação de adesivo e pressão de colagem, bem como aumentar a resistência das emendas de topo (MACÊDO; JUNIOR, 1999).

Geralmente, as emendas dentadas encontram-se distribuídas em toda a extensão dos painéis EGP, influenciando de forma significativa na resistência mecânica dos mesmos. Por esta razão, o conhecimento da resistência mecânica das emendas dentadas é imprescindível para o bom desempenho dos painéis (MACÊDO; JUNIOR, 2007).

A produção dos painéis EGP permite o aproveitamento de peças que apresentam pequenos defeitos, resíduos de serrarias e outras indústrias do setor madeireiro. Entretanto, muitas vezes este painel é confeccionado com árvores jovens, as quais possuem fibras com menor comprimento e espessura de parede e menores massas específicas. Os painéis constituídos de madeira juvenil apresentam menor rigidez e propriedades mecânicas inferiores comparados aos painéis constituídos de lenho adulto (MAYER, 2008).

Padrões de qualidade estão sendo estabelecidos para a comercialização deste tipo de painel levando em conta fatores como espessura de sarrafos, umidade, qualidade e quantidade de adesivo e uniformidade principalmente das extremidades (MAYER, 2008). De acordo com Del Menezzi *et al.* (2001), esses painéis são geralmente produzidos com peças de largura ente 30 e 50 mm e espessura entre 15 e 30 mm, utilizando adesivos sintéticos.

Geralmente não são aplicados revestimentos ao EGP, visto que o efeito decorativo é dado pelo próprio desenho da madeira e/ou pelas emendas. Somente quando o painel EGP apresenta baixa qualidade, ou seja, quando o efeito decorativo do desenho da madeira é comprometido pela evidência de nó morto ou medula, por exemplo, o painel é coberto por lâminas decorativas. A qualidade do EGP está relacionada à incidência de defeitos observados nos sarrafos que compõem o

painel. Com ou sem revestimento, o EGP é utilizado principalmente na fabricação de partes e peças de móveis em madeira (MATTOS *et al.*, 2008).

O painel EGP é classificado como um Produto de Maior Valor Agregado (PMVA) devido ao fato de ser obtido pelo reprocessamento da madeira serrada, com vistas à agregação de valor ao produto primário. É uma tendência entre as empresas brasileiras nos últimos anos. As principais espécies utilizadas na fabricação dos PMVA são as madeiras oriundas de florestas plantadas, como o pinus, eucalipto e teca, e algumas espécies nativas (ABIMCI, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Os PVMA são o que se pode chamar de evolução competitiva das antigas *commodities* do setor madeireiro, pois são produtos bem aceitos no mercado internacional além de somar valor e não serem necessários grandes investimentos para produzi-los (FUMAGALLI, 2008).

Em 2004, de acordo com Nahuz (2004), os mercados de produtos de maior valor agregado estavam operantes e em crescimento. Painéis EGP de eucalipto estavam sendo exportados a US\$ 510 a 570 / m³, e de pinus, exportados a US\$ 430 a 450 / m³. No período de 1997-2006, de acordo com o estudo setorial da ABIMCI (2007), a produção de painéis EGP apresentou crescimento anual de 8,5% e de 108,8% no período. Porém, o consumo cresceu aproximadamente 6,2% ao ano, e 71,8% no período. E segundo a ABRAF (2012), as exportações de painéis EGP, juntamente com *blocks&blanks*, molduras e carvão vegetal, somaram US\$163 milhões em 2011.

Prata (2010) afirma que, atualmente, a maior parte da produção de EGP é de madeira de pinus de clima temperado. Este autor também confirmou que a avaliação de qualidade de painéis EGP no mercado internacional (mercado europeu) é regida por quesitos da norma EN-13353 que especifica as exigências de qualidade de colagem, baseado em valores mínimos de resistência.

Na preparação da madeira, para a colagem, o aspecto concernente à topografia da superfície, como aspereza e imperfeições superficiais, reduz a aproximação de duas peças a serem coladas, prejudicando as funções de movimento do adesivo. Fendas superficiais podem aumentar a penetração e consumo do adesivo, reduzindo a resistência da ligação (IWAKIRI, 2005).

A subsuperfície da madeira quando danificada em função do processo inadequado de corte ou aplicação excessiva de pressão, podem também resultar em falhas na madeira na linha de cola (IWAKIRI, 2005).

Garcia e Rech (2011) citam as causas dos principais defeitos que podem surgir durante a colagem de laminados que provavelmente podem ser extrapoladas para a colagem de madeira sólida. São elas: tempo em aberto muito longo; presença de rachaduras no dorso da peça de madeira; pressão insuficiente; tempo de prensagem insuficiente; irregularidades na superfície do substrato; condições ambientais desfavoráveis (alta umidade relativa, baixa temperatura).

A formulação e a quantidade (gramatura) do adesivo a ser aplicado devem ser monitoradas no processo de colagem da madeira, pois influenciam na qualidade de colagem (IWAKIRI, 2005). A gramatura recomendada situa-se na faixa de 180 a 220 g/m² de superfície (LOPES, 2006).

Quanto maior a espessura da linha de cola, maior a tendência dos adesivos PVAc deformarem quando submetidos à carga. Portanto, para que haja maior aproximação entre as faces que serão coladas, estas devem ser bem usinadas. Recomenda-se também que a usinagem seja realizada imediatamente antes da aplicação do adesivo. Dessa forma, o adesivo tem a oportunidade de penetrar nas células rompidas durante a usinagem (GOULDIN, 1983).

De modo geral, o adesivo PVAc para madeiras é fornecido pronto para ser utilizado, mas aconselha-se homogeneizar o adesivo imediatamente antes da sua utilização. Quando o adesivo é bicomponente, como no caso do EPI, onde é acrescentado um catalisador deve-se utilizar um misturador adequado para que seja garantida a razão de proporção entre os dois componentes e a completa homogeneização da mistura. Deve-se, igualmente, seguir as recomendações do fabricante referente à proporção de catalisador, validade, aplicação, gramatura e diluição dos adesivos (GOULDING, 1983).

De acordo com Henkel Ltda (2010a), o adesivo aquoso termoestável entrecruzado (PVAc de nome comercial DORUS KL 245), assim como os adesivos EPI e PU, deve ser armazenado em local fresco e bem ventilado, com temperatura entre 5°C e 30°C e sem exposição direta à luz solar e a baixas temperaturas. Ele deve ser aplicado em superfícies limpas, perfeitamente planas e com perfeito esquadro.

Este boletim recomenda aplicar o adesivo em madeiras com teor de umidade variando entre 8 e 12%, gramatura de 160 à 200 g/m², tempo de prensagem em prensa fria de no mínimo 40 minutos, em prensa quente de 3 a 5 minutos, ou em prensa de alta frequência de 1 a 3 minutos. A pressão para madeiras

de elevada massa específica deve ser entre 9 e 11 kgf/cm². E o tempo em aberto deve ser de 4 minutos. Este adesivo PVAc não deve ser diluído ou catalisado. Pode ser aplicado por rolos, extrusão, trincha, espátulas, etc. Em caso de aplicação por rolos ranhurados, estes devem estar limpos, com ranhuras uniformes e bem ajustados para evitar a incorreta aplicação e o desperdício de adesivo.

Os pratos das prensas utilizados para a colagem devem ser mantidos em boas condições de uso, limpos e bem nivelados. Este adesivo PVAc também pode ser utilizado em emendadeiras e para colagem de “*finger joint*”. Os equipamentos utilizados na preparação e colagem da madeira devem estar bem regulados e aferidos por meio de uma manutenção preventiva e constante. Deve-se, ainda, evitar contaminação por óleos, ceras, água, metais, outros adesivos, etc (HENKEL LTDA, 2010a).

De acordo com Henkel Ltda (2010b) e Henkel Ltda (2010c), o adesivo EPI (nome comercial DORUS SL 3184) deve ser armazenado nas mesmas condições do adesivo PVAc, e pode ser aplicado por rolos, pincel ou extrusão. Por ser um adesivo bicomponente, para sua utilização deve ser acrescentado um *cross-linker* (nome comercial DORUS R 7357), que é um derivado da família de isocianatos que se emprega em sistemas de adesivos bicomponentes, reagindo com polióis ou grupos OH presentes no meio.

Este *cross-linker* deve ser acrescentado na proporção de 15% da base polivinil acetila, ou seja, a base correspondendo a 100 partes por peso e o catalisador correspondendo a 15 partes por peso e, posteriormente, deve ser feita a homogeneização da mistura. À temperatura de 5°C essa mistura tem validade por, aproximadamente, 240 minutos, a 10°C, 150 minutos e a 25°C, 40 minutos. As peças de madeira devem ser prensadas por 2 horas se a prensa for a 5°C, por 80 minutos se a 10°C ou por 30 minutos se a 25°C. Recomenda-se gramatura de 250 a 300 g/m² e a cura total do adesivo é atingida após 7 dias a 20°C ou 2 semanas a 5°C (HENKEL LTDA, 2010b).

De acordo com o Boletim Técnico do adesivo monocomponente PU de nome comercial HB S109_E (Henkel Ltda, 2007), este adesivo pode ser alimentado diretamente no equipamento adequado para sua aplicação que se dá em um processo contínuo. Assim como os adesivos PVAc e EPI, deve ser aplicado em superfícies limpas e livres de impurezas.

Para colagem das faces laterais, o teor de umidade da madeira não deve ser abaixo de 8% e a diferença entre o teor de umidade em uma mesma peça a ser colada não deve ultrapassar 4%. Deve-se aplicar o adesivo em uma das faces utilizando gramatura mínima de 180 g/m², tempo de montagem máximo de 10 minutos, tempo de prensagem de 25 minutos e a pressão específica recomendada é de 6 a 8 kgf/cm². A resistência final da junta colada é obtida em, aproximadamente, 12 horas após a colagem.

Para a colagem das emendas de topo "*finger joint*", no Boletim Técnico do adesivo PU estão apresentadas as seguintes recomendações: o teor de umidade não deve variar mais que 5% entre as peças coladas; o adesivo deve ser aplicado com gramatura de 140 a 180 g/m² e pressionado imediatamente depois. As peças coladas podem ser processadas após 25 minutos (Henkel Ltda, 2007).

3.7 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS EGP

Quando duas peças de madeira são coladas para uso não estrutural, a resistência da junta colada deve ser suficiente para que as peças mantenham-se unidas durante seu manuseio, processamento e uso (SELLERS JR., 1994).

Analisar as tensões que ocorrem numa junta adesiva nem sempre é tão simples como parece ser à primeira vista. Os ensaios mais utilizados para avaliar juntas adesivas são os de cisalhamento. A distribuição das tensões em uma junta está longe de ser uniforme, mas os resultados dos ensaios são, geralmente, relatados como carga de ruptura sobre a área cisalhada (DEVRIES; BORGMEIER, 1994).

Os adesivos são, muitas vezes, utilizados em aplicações onde são expostos a cargas contínuas ou intermitentes por longos períodos e é difícil criar tal condição em laboratório. Nem o ensaio mecânico do adesivo nem a observação da junta sob condições reais de serviço é uma alternativa muito viável. É comum o uso de ensaios acelerados onde condições extremas são usadas para aumentar a velocidade da deterioração da junta adesiva (DEVRIES; BORGMEIER, 1994).

Alguns ensaios acelerados são surpreendentemente simples e pretendem fornecer apenas informações qualitativas, enquanto outros foram formulados em

ensaios padronizados e destinados a produzir resultados mais quantitativos. A maioria envolve temperatura e umidade, visto que as juntas adesivas são geralmente expostas à estes dois fatores ambientais já conhecidos por influenciar de forma significativa a durabilidade dos adesivos (DEVRIES; BORGMEIER, 1994).

A maioria dos ensaios acelerados nem ao menos se aproximam das reais condições de serviço dos adesivos. Por exemplo, a maioria das juntas adesivas nunca serão expostas à água fervente. Entretanto, espera-se que a resistência à água fervente por algumas horas ou dias possa proporcionar alguma evidência válida (ou, pelo menos, uma ideia) da durabilidade da junta adesiva após anos de exposição à umidade e à temperatura ambiente (DEVRIES; BORGMEIER, 1994).

Embora estes ensaios acelerados não reproduzam as condições reais de uso das juntas adesivas, eles mostram-se muito úteis para fins de comparação entre adesivos de diferentes graus de durabilidade (DEVRIES; BORGMEIER, 1994).

Prata (2010), visando estudar a qualidade de colagem de painéis EGP formados com madeiras de espécies de pinus tropicais executou ensaios mecânicos de cisalhamento para colagem lateral e flexão estática e tração das emendas “*finger joint*”, seguindo os pressupostos das normas EN 13353 e ASTM D5572.

A norma EN 13353 (2008) especifica que o quinto percentil inferior da resistência ao cisalhamento dos corpos de prova, calculado conforme a norma EN 326-1 (2002), deve ser igual ou superior a 2,5 MPa. E a norma ASTM 5572 (2006) apresenta requisitos mínimos de resistência que devem ser atingidos através do ensaio mecânico de flexão (Tabela 01).

TABELA 01. REQUISITOS MÍNIMOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (ASTM 5572, 2006)

CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO E CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO ^A	FLEXÃO ESTÁTICA – VALOR MÍNIMO DE MOR ^B (MPa) ^C	
Uso seco	Curado (seco)	13,8
	Três ciclos em água	6,9
Uso úmido	Curado (seco)	13,8
	Fervura	9,7
	Pressão a vácuo	9,7

^a Vinte amostras são requeridas para cada classificação e exposição.

^b Os resultados de flexão estática podem variar com a espécie. Qualquer madeira aceitável deve produzir emendas capazes de atender a esses requisitos.

^c Para cada amostra

Com o objetivo de estudar adesivos aplicados na indústria de painéis colados lateralmente, Lopes (2008) determinou a resistência ao cisalhamento seguindo os preceitos da norma europeia EN 204 – “*Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications*”.

Haubrich *et al* (2007) cita que a norma EN 204 (2001) não avalia a qualidade da colagem, mas sim a qualidade do adesivo, pois a norma determina um substrato específico, a madeira de *Fagus sylvatica*. Esta norma classifica os adesivos termoplásticos para madeira para aplicação não estrutural.

Expressa em porcentagem da área total de ligação da junta adesiva, a falha na madeira significa a ruptura de fibras de madeira durante os ensaios de resistência da ligação do adesivo à madeira (VICK, 1999). Ela é muitas vezes considerada tão importante quanto à força da ligação (FRIHART, 2005). A norma EN 13353 (2008) especifica que a média da porcentagem de falha na madeira de cada painel deve ser maior que 40%, com exceção das madeiras de massa específica acima de 0,60g/cm³.

As tensões geradas pela interação entre a madeira e o adesivo são de suma importância no balanço geral da resistência do painel. Quanto maior a resistência da linha de cola em relação à resistência da madeira, maior será a porcentagem de falhas da madeira na interface com o adesivo (IWAKIRI, 2005).

3.8 CONDIÇÕES DE USO DO PRODUTO COLADO

As condições ambientais dos locais de utilização do produto devem ser considerados para que o produto tenha sua qualidade garantida. Os produtos são classificados como de uso interno, intermediário e externo. Portanto, é de suma importância o emprego de adesivos adequados a cada condição de uso, principalmente em ambientes com variações cíclicas de alta e baixa umidade relativa do ar e exposição direta à umidade (IWAKIRI, 2005). Davis e Shaffer (1994) afirmam que a degradação da linha de cola pela umidade dificulta a obtenção de juntas adesivas com elevada durabilidade.

O adesivo PVAc pode se apresentar na forma monocomponente, em que normalmente não é resistente à umidade, sendo classificado pela norma europeia

EN 204/205 como adesivo de nível D1 e D2. Porém, com formulação especial, ainda na forma monocomponente, pode atingir o nível D3, sendo, portanto, resistentes à umidade por intervalos não muito longos. A resistência da colagem a condições extremas de temperatura e umidade é atingida para a composição de bicomponente, que mediante adição de catalisador, atinge resistência para exposição à umidade por intervalos prolongados. Neste caso, é enquadrado no nível D4 e indicado na colagem de móveis de uso externo, portas, janelas e diversos produtos estruturais (GARCIA; RECH, 2011).

Devido ao fato do adesivo PVAc ser um polímero termoplástico ele perde força de coesão a medida que a temperatura aumenta. Geralmente, polímeros de alto peso molecular perdem menos resistência quando expostos à elevada temperatura que os polímeros de baixo peso molecular, mas a diferença entre eles não é muito significativa (GOULDING, 1983).

O adesivo PVAc utilizado nesta pesquisa atende a norma EN 204/205 para colagem lateral como adesivo D3 e a norma ASTM D-5572 Tipo II (uso interior) para “*finger joint*”. É um adesivo monocomponente e de acordo com o fabricante, apresenta excelente adesão sobre grande variedade de madeiras, especialmente madeiras de difícil colagem. É recomendado para os mais diversos usos finais como: painéis, móveis, portas, molduras, móveis de jardim, esquadrias e outros (HENKEL LTDA, 2010a).

O adesivo bicomponente EPI proporciona grande força de adesão e excelente resistência a altas temperaturas, água e solvente. Apresenta excelente desempenho em colagem de lâminas de madeiras de alta e média densidade. E tem alto *tack* inicial e cura mesmo a baixas temperaturas (mínimo 10°C) (HENKEL LTDA, 2010b).

O adesivo monocomponente PU pode ser utilizado em colagens laterais ou de topo “*finger joint*”. Este adesivo é classificado como Tipo 1 – adesivo para uso estrutural de acordo com a norma AS/NZS 4364 (Int):2007 (HENKEL LTDA, 2007). Radovic e Rothkopt (2003) encontraram resultados satisfatórios quando analisaram vigas de madeira laminada coladas com diversos adesivos PU da linha comercial *Purbond*, submetidas à carga permanente por mais de dez anos. Estes autores ainda afirmam que devem ser consideradas a formação de espuma e a sua reatividade com a umidade, características deste tipo de adesivo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

O material utilizado nesta pesquisa constituiu-se de resíduos do processo de fabricação de pisos de madeira sólida da empresa Triângulo Pisos e Painéis LTDA, localizada em Curitiba, PR (Figura 01). Foram utilizados resíduos de madeiras, previamente secos, de seis espécies tropicais conhecidas comercialmente como: amendoim (*Pterogyne nitens*), guajuvira (*Patagonula* sp.), ipê (*Tabebuia* spp.), jatobá (*Hymenaea* spp.), muiracatiara (*Astronium lecointei*) e tauari (*Couratari* spp.) oriundas de áreas de manejo florestal situadas nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia.



FIGURA 01. RESÍDUOS DE MADEIRA SÓLIDA DA EMPRESA TRIÂNGULO PISOS LTDA. FONTE: A autora (2011)

Os resíduos utilizados para a produção das peças coladas foram classificados em sarrafos (pedaços de madeira com espessura de 2,0 a 4,0 cm e largura de 2,0 a 10,0 cm) e ripas (espessura menor que 2,0 cm e largura menor que 10,0 cm), de acordo com a norma NBR 7203 (1982), sendo peças cujos defeitos as desqualificam para uso na produção de pisos.

Para a realização das colagens foram utilizados três tipos de adesivos: PVAc D3 (nome comercial: DORUS KL 245A) – monocomponente à base de resina polivinilacetato, EPI (nome comercial: DORUS SL 3184 + DORUS R 7357) - bicomponente à base de polivinilacetato e isocianato e PU (nome comercial: PURBOND HB S109) – adesivo poliuretano monocomponente, todos fornecidos pela empresa Henkel LTDA, Curitiba, PR.

Para a caracterização dos resíduos de madeira e dos adesivos foram utilizadas as seguintes normas técnicas: Boletins da IAWA (1989), NBR 7190 (1997), TAPPI T 257 cm-12 (2012), TAPPI 264 cm-97 (2007), TAPPI T204 cm-07 (2007), TAPPI 252 om-12, 2012 – modificada), ASTM D 1084-97 e EN 827 (2006). Para a determinação da resistência ao cisalhamento das juntas coladas e à flexão das emendas de topo foram utilizadas as seguintes normas: EN 13353 (2008), EN 13354 (2008) e ASTM 5572 (2006).

Foram utilizados os seguintes instrumentos, equipamentos, vidrarias e solventes: medidor elétrico resistivo, paquímetro, cronômetro, termômetro, estiletes, lixas, lupa contafios, peras, equipamentos de proteção individual, bomba à vácuo, serras circulares, desengrossadeira, lixadeira, máquina “*finger joint*”, prensa fria tipo carrocel, prensa de alta frequência, balanças analíticas, banho maria, ph-metro, viscosímetro, estufas, máquina de ensaio universal, mantas e placas térmicas, computadores, máquinas fotográficas, lupa Zeiss Discovery v.12, cadinhos de porcelana e de alumínio, potes plásticos, beckers, soxhlets, placas de petri, pipetas, buretas, erlenmayers, balões volumétricos, bastões de vidro, hidróxido de sódio, etanol, tolueno, ácido acético, ácido sulfúrico, e soluções tampão.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Descrição anatômica das espécies

A descrição das características anatômicas foi realizada de acordo com os procedimentos que constam nas normas do Boletim da IAWA - Associação Internacional de Anatomistas da Madeira (1989). Foram utilizados 25 (vinte e cinco) cubos de madeira com lados de, aproximadamente, 2,0 cm.

As espécies foram identificadas macroscopicamente com o auxílio de uma lupa contafios de aumento 10x, no Laboratório de Anatomia da Madeira, da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Como padrão, foram utilizadas amostras da xiloteca do próprio laboratório.

A frequência (número de poros/mm²) e o diâmetro tangencial dos poros foram determinados através de 25 imagens capturadas em Lupa Zeiss, modelo Discovery V.12, com magnitude de 80 vezes.

4.2.2 Determinação das propriedades físicas e químicas dos resíduos de madeira

4.2.2.1 Teor de umidade

O teor de umidade das peças utilizadas foi determinado através de duas metodologias: uso de medidor elétrico resistivo e através da relação entre a massa da água contida na madeira e a massa da madeira seca em estufa a 103°C ± 2°C. O medidor elétrico resistivo foi utilizado para verificar a variação do teor de umidade de cada peça antes da colagem realizada na empresa Henkel Ltda, e a determinação do teor de umidade em estufa foi utilizada para verificar o teor de umidade dos resíduos de madeira enquanto estavam no laboratório de painéis de madeira da UFPR. Foram realizadas 10 (dez) repetições por espécie.

4.2.2.2 Massa específica básica

A massa específica básica das espécies foi determinada de acordo com a norma NBR 7190 (1997), em conjunto com a determinação da variação dimensional das espécies. Foram utilizados 12 (doze) corpos de prova com dimensões nominais de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm, para caracterização de cada espécie.

Também foi determinada a massa específica básica de 60 corpos de prova por espécie após sua utilização no ensaio mecânico de cisalhamento da linha de cola lateral. Desta vez, objetivou-se, estudar a correlação da massa específica básica com a resistência mecânica das juntas coladas.

4.2.2.3 Variação dimensional

A variação dimensional causada pela contração da madeira saturada submetida à secagem foi determinada de acordo com a norma ABNT 7190 (1997). Foram utilizados 12 (doze) corpos de prova de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm de cada espécie para a determinação do coeficiente de anisotropia e das contrações radial, tangencial, longitudinal e volumétrica.

4.2.2.4 Teor de extrativos

Para a determinação do teor de extrativos totais da madeira, o material foi preparado conforme a norma TAPPI T 257 cm-12 (2012). As peças de madeira foram reduzidas à forma de cavacos, que foram transformados em partículas em moinho de martelo e, posteriormente, em serragem, através da passagem pelo moinho tipo *Willey*.

Após a preparação do material para análise, o teor de extrativos totais foi determinado de acordo com a norma TAPPI 264 cm-97 (2007), com a seguinte alteração: a extração com etanol-benzeno foi substituída por etanol-tolueno, embora a Comissão Técnica da TAPPI tenha voltado a recomendar o uso do benzeno

conforme mencionado na norma TAPPI T204 cm-07 (2007). Foram feitas 5 (cinco) repetições por espécie.

4.2.2.5 pH

As determinações do pH da madeira foram realizadas após a solubilização de 2,0 g de partículas de madeira que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh em 100 mL de água quente por 3 (três) horas (TAPPI 252 om-12, 2012 – modificada). Utilizou-se o aparato soxhlet/manta térmica para que não houvesse perda de vapor d'água e conseqüente variação de concentração dos extratos analisados. Foram realizadas 3 (três) repetições por espécie.

4.2.3 Determinação das propriedades dos adesivos

Foram determinadas as seguintes propriedades dos adesivos PVAc, EPI e PU utilizados nesta pesquisa: viscosidade, teor de sólidos e pH.

4.2.3.1 Viscosidade

A determinação da viscosidade dos adesivos, baseada na norma americana ASTM D 1084-97 foi feita em viscosímetro *Brookfield*. O “*spindle*” (agitador) empregado para a determinação da viscosidade dos adesivos foi o de número 4 (quatro) para os adesivos EPI e PVA, ambos com velocidade de rotação de 20 rpm. Para a determinação da viscosidade, os adesivos foram mantidos a temperatura de 25°C e foram realizadas 5 (cinco) repetições para cada adesivo.

Não foi possível determinar a viscosidade do adesivo PU no Laboratório de Painéis de Madeira da UFPR devido à rapidez de sua cura e possível dano ao

viscosímetro. Para discussão dos resultados desta pesquisa, foi utilizado apenas o valor de referência obtido no Boletim Técnico do adesivo PU (HENKEL LTDA, 2007).

4.2.3.2 Teor de sólidos

O teor de sólidos dos adesivos foi obtido de acordo com a norma EN 827 (2006), através do aquecimento de 5 (cinco) amostras de, aproximadamente, 2,0 g de adesivo até a total evaporação dos seus componentes voláteis, quando o resíduo atingiu massa constante.

4.2.3.3 pH

O pH dos adesivos PVAc e EPI foram medidos a 25°C em pH-metro calibrado a valores de pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas. Foram realizadas cinco repetições. O pH do adesivo PU, não foi medido em laboratório devido ao receio de comprometer o eletrodo do pH-metro. Também não foi possível sua determinação com papéis medidores de pH. Além disso, essa informação não está contida no Boletim Técnico do adesivo PU (HENKEL LTDA, 2007).

4.2.4 Produção das juntas coladas

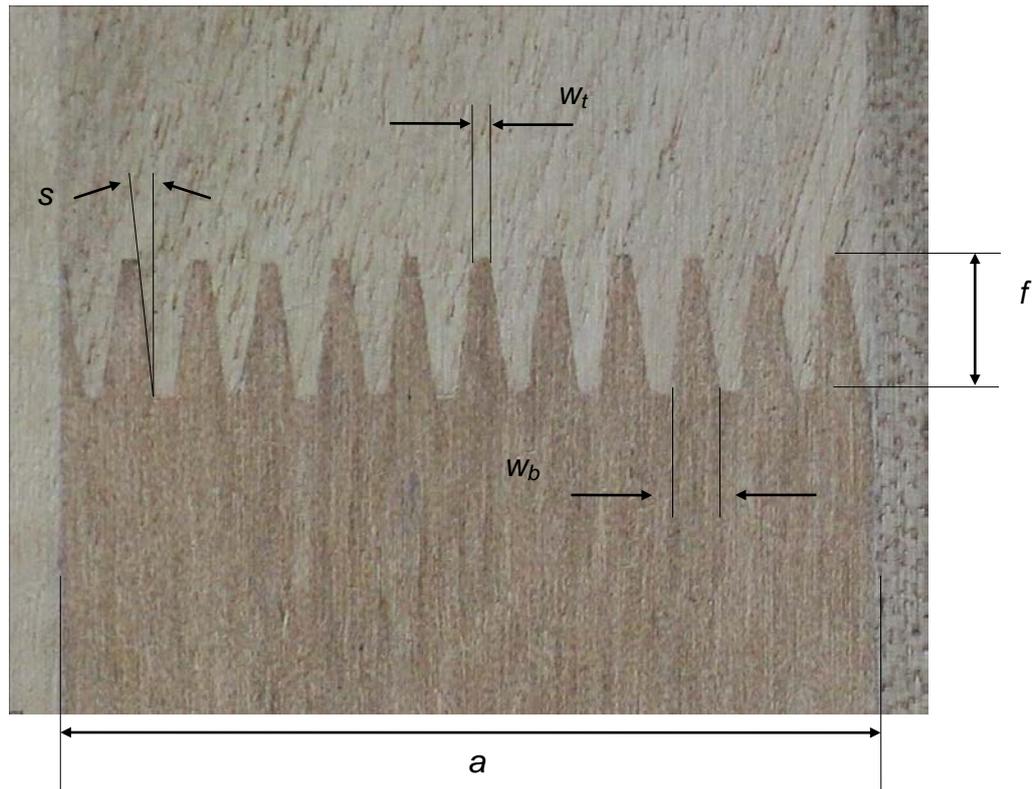
Inicialmente, os resíduos de madeira sólida das seis espécies foram destopados e perfilados para a retirada do encaixe “macho-fêmea”. Para as colagens da fase 1 (estudos preliminares) foram utilizados sarrafos de 50 x 300 mm, para as colagens da fase 2 foram utilizados sarrafos de 20 x 500 mm e para as colagens de topo foram utilizados sarrafos de 100 x 500 mm. A espessura dos sarrafos variou conforme as espécies: 16 mm para espécie jatobá, 18 mm para as espécies amendoim, guajuvira e muiracatiara e 21 mm para as espécies ipê e tauari.

Após preparação dos sarrafos, parte foi levada para a empresa Naderer Madeiras, localizada em São Bento do Sul – SC para que fossem feitos os cortes dos dentes verticais na máquina “*finger joint*” para formar as emendas de topo (Figura 02). Para as colagens laterais as bordas foram apenas aplainadas.



FIGURA 02. MÁQUINA “*FINGER JOINT*” DA EMPRESA NADERER MADEIRAS.
FONTE: A autora (2012)

A geometria e as dimensões das emendas “*finger joint*” utilizadas estão descritas na Figura 03.



- a altura da emenda "finger joint";
 f comprimento do dente: 8,3 mm;
 w_t largura da ponta do dente: 1mm;
 w_b largura da base do dente: 2,7mm;
 s inclinação do dente: 5°.

FIGURA 03. GEOMETRIA E DIMENSÕES DAS EMENDAS "FINGER JOINT".
 FONTE: A autora (2012)

Após a preparação das bordas e dos "fingers", os sarrafos foram levados ao laboratório da empresa Henkel LTDA, para que as colagens laterais e as emendas de topo pudessem ser realizadas.

Os adesivos foram aplicados com o uso de espátula; melhor ferramenta encontrada para aplicação manual, após tentativas fracassadas de aplicação com rolos e pincéis.

Utilizou-se tempo de montagem - período transcorrido entre a aplicação do adesivo e a prensagem – de, em média, 1 minuto. Para a prensagem, utilizou-se a prensa fria tipo carrossel e a prensa de alta frequência, com área utilizável de 0,54 e 1,21 m², respectivamente (Figura 04).



FIGURA 04. PRENSAS UTILIZADAS PARA AS COLAGENS. A - CARROSSEL. B - ALTA FREQUÊNCIA. FONTE: A autora (2012)

Antes da produção dos painéis EGP com os três adesivos, foram realizados estudos da fase 1 com os adesivos PVA e EPI com o intuito de serem determinados os parâmetros de colagem mais adequados para este material.

4.2.4.1 Fase 1

Nesta fase foram realizados ensaios preliminares com o adesivo PVA. Foram estudados os efeitos da variação de tempo de prensagem (3, 4 e 5 minutos) e pressão específica (6 e 8 kgf/cm²) para a colagem lateral de peças de ipê e tauari, que eram espécies de maior e menor massa específica básica disponível no início da realização desta pesquisa. Para estas colagens foi utilizada a gramatura de 180 g/m² e a prensa de alta frequência.

Nos ensaios preliminares com o adesivo EPI foram estudados os efeitos da variação de gramatura (150 e 200 g/m²) na colagem lateral de sarrafos das demais quatro espécies em estudo: amendoim, guajuvira, jatobá e muiacatiara. Estas colagens foram realizadas em prensa fria, com tempo de prensagem de 24 horas e pressão de 8,0 kgf/cm². Não foram realizados estudos preliminares com o adesivo PU porque, a princípio, só seriam estudados os adesivos PVAc e EPI devido ao fato de que são os principais adesivos utilizados para produção de painéis EGP atualmente.

Para cada tratamento dos ensaios preliminares foi montado um painel formado por doze sarrafos colados lateralmente (Figura 05), para a retirada dos 10 (dez) corpos de prova de cisalhamento.



FIGURA 05. PAINEL FORMADO PARA AVALIAÇÃO DOS ENSAIOS PRELIMINARES. FONTE: A autora (2012)

Após a realização dos ensaios preliminares e obtenção de mais informações sobre a produção de painéis EGP, procederam-se as colagens da fase 2 desta pesquisa.

4.2.4.2 Fase 2

Nesta fase, foram realizadas as colagens laterais e emendas de topo dos sarrafos das seis espécies em estudo – amendoim, guajuvira, ipê, jatobá, muiracatiara e tauari, com os adesivos EPI, PU e PVAc, utilizando prensa tipo carrossel (fria) com pressão específica de 8,0 kgf/cm².

Para as colagens laterais a prensagem ocorreu durante 50 minutos e, para todos os três adesivos, foram utilizadas duas gramaturas (150 e 200 g/m²).

Embora os boletins técnicos dos adesivos e as empresas que trabalham produzindo painéis EGP tenham recomendado o uso da gramatura de 200 g/m² ou mais, a gramatura de 150 g/m² foi inclusa neste delineamento para colagens laterais visando identificar espécies que pudessem ser coladas com maior economia de adesivo.

Para as emendas de topo do tipo “*finger joint*” a prensagem ocorreu durante 10 segundos e, para cada um dos três adesivos, foi utilizada a gramatura de 200 g/m².

4.2.5 Determinação da resistência da colagem lateral e de topo

4.2.5.1 Ensaio de cisalhamento da colagem lateral

A qualidade da colagem lateral dos painéis dos ensaios preliminares e das colagens laterais dos sarrafos da fase 2 foi determinada de acordo com a norma EN 13354 (2008). Para cada tratamento foram utilizados 10 (dez) corpos de prova, conforme a Figura 06.

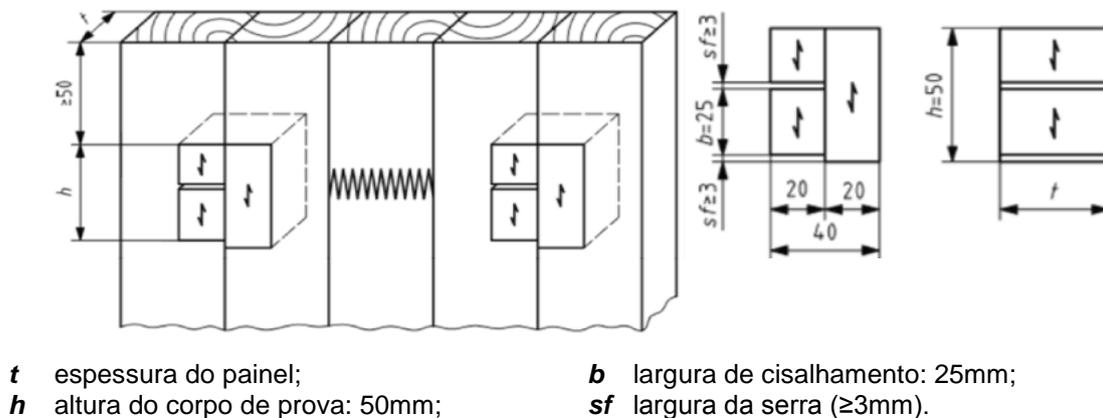


FIGURA 06. DESENHO ESQUEMÁTICO DE CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE CISALHAMENTO. FONTE: EN 13354 (2008)

De acordo com a norma 13354 (2008), previamente ao ensaio mecânico, os corpos de prova devem ser submetidos à pré-tratamentos de acordo com a condição de uso do painel: uso não estrutural seco (SWP/1 NS), úmido (SWP/2 NS) ou externo (SWP/3 NS).

Para os estudos preliminares, os corpos de prova foram submetidos apenas ao pré-tratamento para uso não estrutural seco. Este pré-tratamento consiste na imersão dos corpos de prova em água a 20±3°C durante 24 horas.

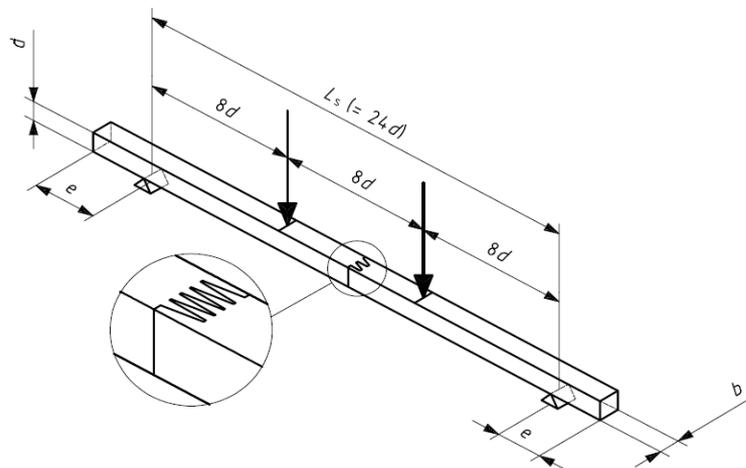
Para as colagens da fase 2, os corpos de prova foram submetidos aos pré-tratamentos para uso não estrutural seco e úmido. Este último consiste na imersão dos corpos de prova em água fervente por 6 horas e em água a $20\pm 3^\circ\text{C}$ por 1 hora.

A norma EN 13353 (2008) especifica que o quinto percentil inferior da resistência ao cisalhamento dos corpos de prova, calculado conforme a norma EN 326-1 (2002), deve ser igual ou superior a 2,5 MPa.

Devido ao fato de as espécies utilizadas neste estudo possuírem massa específica maior que $0,60\text{ g/cm}^3$, não há requisitos mínimos para porcentagem de falha na madeira da área cisalhada.

4.2.5.2 Ensaio de flexão estática das emendas de topo “*finger joint*”

A qualidade da colagem das emendas de topo “*finger joint*” foi determinada de acordo com a norma ASTM D 5572 (2006), modificada. Para cada pré-tratamento foram utilizados 10 (dez) corpos de provas, conforme a Figura 07.



- L_s comprimento dos corpos de prova entre os pontos de reação
- b largura da junta vertical
- d altura (espessura) do corpo de prova
- e comprimento do corpo de prova além dos pontos de reação

FIGURA 07. DESENHO ESQUEMÁTICO DE CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA. FONTE: ASTM 5572 (2006)

A largura “*b*” de todos os corpos de prova utilizados foi de 19 mm. A altura “*d*” de cada corpo de prova variou conforme a espessura do material que lhe deu origem e, conseqüentemente, os corpos de prova variaram em comprimento, para obedecer à proporção estabelecida na norma supracitada: vão (*Ls*) = 24 *d*.

A distância entre os dois pontos de carga utilizada neste ensaio foi de 104 mm, pouco menor que a recomendada pela norma que é de oito vezes a altura (*d*) do corpo de prova. Entretanto, deve-se ressaltar que os resultados apresentados mais adiante já estão corrigidos pela seguinte equação:

$$P = (P' \cdot l) / (Ls/3) \quad (1)$$

Onde

P = carga máxima real, corrigida (N);

P' = carga máxima obtida do software da máquina de ensaio universal (N);

l = distância entre uma das cargas e o ponto de apoio mais próximo (mm);

Ls = comprimento dos corpos de prova entre os pontos de apoio (mm).

De acordo com a norma (ASTM 5572, 2006), para o cálculo do módulo de ruptura *MOR*, em MPa, foi utilizada a seguinte equação:

$$MOR = P \cdot Ls / b \cdot d^2 \quad (2)$$

Onde

b = largura da junta vertical (mm);

d = altura (espessura) do corpo de prova (mm).

De acordo com a norma ASTM 5572 (2006), para cada condição de uso (seco ou úmido), os corpos de prova devem ser submetidos à pré-tratamentos e atingir requisitos mínimos de resistência à flexão estática conforme a Tabela 01. Foram realizados os pré-tratamentos conforme recomenda a norma, com exceção do pré-tratamento de pressão a vácuo.

Portanto, para cada espécie, foram utilizados 30 corpos de prova por adesivo (PVA, EPI e PU), sendo 10 submetidos ao pré-tratamento seco, 10 ao pré-tratamento de três ciclos em água e 10 ao pré-tratamento de fervura, totalizando 90 corpos de prova por espécie.

O pré-tratamento seco (curado) corresponde ao ensaio de flexão estática após a cura do adesivo. Para o pré-tratamento de “três ciclos em água” os corpos de prova foram submetidos à imersão em água a 19 - 27°C por 4 horas e secos em estufa a 41±3°C por 19 horas, sendo este ciclo repetido por três vezes. Após a última secagem os ensaios foram conduzidos a 24±3°C.

O pré-tratamento de fervura consiste em submeter os corpos de prova à imersão em água fervente por 4 horas, secagem por 20 horas em estufa a 63±3°C e, novamente, imersão em água fervente por 4 horas. Após este segundo banho em água fervente, os corpos de prova ficaram imersos em água corrente a 18-27°C por 1 hora para posterior ensaio mecânico.

Os pré-tratamentos “seco” e “três ciclos em água” foram necessários para classificar os adesivos utilizados nas emendas “*finger joint*” como adesivos não estruturais de uso seco. Segundo esse parâmetro, os adesivos devem ser capazes de produzir resistência e durabilidade suficientes para formar uma junta colada em um produto de madeira de uso não estrutural, onde a umidade de equilíbrio da madeira não exceda 16%.

Para classificar os adesivos como não estruturais de uso úmido, seria necessário submeter as emendas aos pré-tratamentos seco, fervura e pressão a vácuo. Como nesta pesquisa este último pré-tratamento não foi realizado, limitou-se a descrever o comportamento dos adesivos utilizados, frente aos demais pré-tratamentos.

4.2.6 Análise estatística

- Análise estatística das propriedades das espécies, dos adesivos e dos resultados de cisalhamento das colagens laterais da fase 1

Os pressupostos da análise de variância (normalidade, pelo teste de *Shapiro-Wilks*, e homogeneidade de variâncias, pelo teste de *Bartlett*) foram verificados. Foi realizada a análise de variância, para testar a hipótese de igualdade das médias, e aplicado o teste de comparações múltiplas de *Tukey* ao nível de significância de 5%, para identificar as diferenças. Quando os pressupostos não foram atendidos, aplicou-se o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*, para testar

a igualdade dos resultados e, caso detectada diferença, procedeu-se com um teste de comparações múltiplas não-paramétrico, com o nível de significância ajustado pelo método de *Bonferroni*.

- Análise estatística dos resultados de cisalhamento das colagens laterais da fase 2

Para análise estatística da resistência das linhas de cola ao esforço de cisalhamento, foi utilizada a análise de variância com três fatores (espécie, gramatura e tipo de adesivo). Foram consideradas interações de ordens 2 e 3 entre os fatores. Ao analisar a tensão em sua escala original, procedendo com a análise de resíduos para verificação das pressuposições de normalidade e homogeneidade de variância, notou-se o afastamento da distribuição dos resíduos em relação à distribuição Normal, além de variâncias heterogêneas entre os tratamentos. Para contornar tal problema, optou-se pela aplicação da transformação “raiz quadrada”.

Atendidos os pressupostos da ANOVA, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de *Tukey* ao nível de significância de 5%.

- Análise estatística dos resultados de flexão estática das emendas de topo da fase 2

Para análise estatística da resistência das emendas de topo “*finger joint*” ao esforço de flexão, foi utilizada a análise de variância com dois fatores (espécie e tipo de adesivo). Novamente, analisando-se os resíduos produzidos pela análise de variância, considerando os dados na escala original, observou-se que as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias estavam comprometidas. Buscou-se, então, uma transformação apropriada para contornar o não atendimento de tais pressuposições e a distribuição logarítmica foi identificada como a mais adequada.

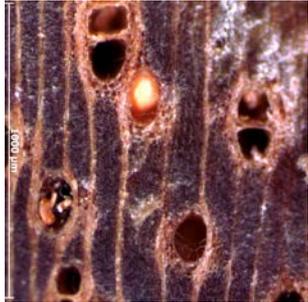
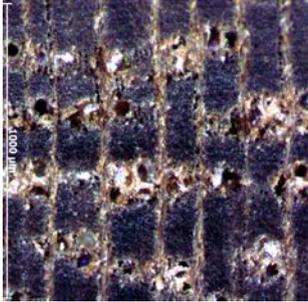
Atendidos os pressupostos da ANOVA, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de *Tukey* ao nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES

As descrições anatômicas das espécies estudadas estão apresentadas na Tabela 02.

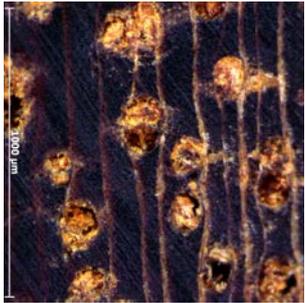
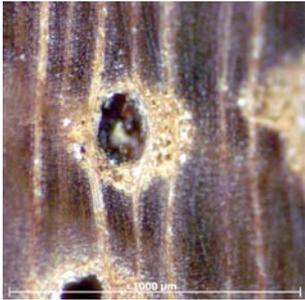
TABELA 02. DESCRIÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

DESCRIÇÃO ANATÔMICA	FOTOS ILUSTRATIVAS DAS MADEIRAS (1 MM ² , AUMENTO DE 80X)
<p>Amendoim (<i>Pterogyne nitens</i>) Folhosa Anéis de crescimento visíveis Porosidade difusa Poros solitários em maioria, alguns geminados e raros os múltiplos de 3 Poros obstruídos por óleo/resina Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e escasso; Parênquima axial apotraqueal em faixas marginal Raios estratificados Não possui diferença entre cerne/alburno nas amostras Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 2; méd.–8; máx.– 15 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 28; méd.– 105; maior– 160 Área relativa de poros: 6,8%</p>	
<p>Guajuvira (<i>Patagonula</i> sp.) Folhosa. Anéis de crescimento não visíveis Porosidade difusa Poros solitários, geminados e múltiplos de 3 Poros obstruídos por óleo/resina Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico escasso, em maioria confluyente formando faixas. Parênquima axial apotraqueal ausente Raios não estratificados Algumas amostras apresentaram diferença entre cerne/alburno Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 38; méd.–51; máx.– 70 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 13; méd.– 46; maior– 106 Área relativa de poros: 8,4%</p>	

Continua

TABELA 02. DESCRIÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Continuação

DESCRIÇÃO ANATÔMICA	FOTOS ILUSTRATIVAS DAS MADEIRAS (1 MM ² , AUMENTO DE 80X)
<p>Ipê (<i>Tabebuia</i> spp.) Folhosa Anéis de crescimento não visíveis Porosidade difusa Poros solitários, geminados e múltiplos Poros obstruídos Parênquima axial paratraqueal aliforme e aliforme confluyente; Parênquima axial apotraqueal ausente Raios estratificados Não possui diferença entre cerne/alburno nas amostras Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 6; méd.–16; máx.– 24 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 41; méd.– 100; maior– 182 Área relativa de poros: 12,8%</p>	
<p>Jatobá (<i>Hymenaea</i> spp.) Espécie I: Folhosa Anéis de crescimento visíveis Porosidade difusa Poros solitários em maioria Poros obstruídos por óleo/resina Parênquima axial paratraqueal: aliforme losangular, aliforme losangular confluyente, eventualmente vasicêntrico; Parênquima apotraqueal em faixas marginal Raios não estratificados Não possui diferença entre cerne/alburnos nas amostras Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 1; méd.– 2; máx.– 6 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 35; méd.– 144; maior– 244 Área relativa de poros: 4,0%</p>	
<p>A espécie II difere da I nas seguintes características: Poros solitários, geminados e múltiplos Parênquima axial paratraqueal: aliforme losangular e vasicêntrico Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 1; méd.– 2; máx.– 6 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 36; méd.– 153; maior– 281 Área relativa de poros: 4,5%</p>	

Continua

TABELA 02. DESCRIÇÃO ANATÔMICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

Conclusão

DESCRIÇÃO ANATÔMICA	FOTOS ILUSTRATIVAS DAS MADEIRAS (1 MM ² , AUMENTO DE 80X)
<p>Muiracatiara (<i>Astronium lecointeii</i>) Folhosa Anéis de crescimento não visíveis Porosidade difusa Poros solitários, geminados e múltiplos de 3, 4 e 5 Poros obstruídos por tilo Parênquima axial paratraqueal escasso Parênquima axial apotraqueal ausente Raios não estratificados Não possui diferença entre cerne/alburnos nas amostras Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 6; méd.– 10; máx.– 14 Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 46; méd.– 108; maior– 167 Área relativa de poros: 8,8%</p>	
<p>Tauari (<i>Couratari</i> spp.) Folhosa Anéis de crescimento não visíveis Porosidade difusa Poros solitários, geminados e múltiplos Poros obstruídos por tilo Parênquima axial paratraqueal ausente Parênquima axial apotraqueal reticulado Raios não estratificados Não possui diferença entre cerne/alburnos nas amostras Frequência dos poros (poros/mm²): mín.– 0; méd.– 3; máx.– 8. Diâmetro tangencial dos poros (µm): menor– 34; méd.– 153; maior– 250 Área relativa de poros: 6,2%</p>	

FONTE: A autora (2013)

Conforme pode ser observado na Tabela 02, todas as espécies apresentam algum tipo de obstrução dos poros, seja por tilos, óleos ou resinas, que podem prejudicar a penetração dos adesivos na madeira. Adicionalmente, as espécies estudadas apresentam porosidade difusa, mas diferenciam-se pela frequência (número de poros por mm²) e diâmetro tangencial dos poros. De acordo com Burger e Richter (1991) quanto maior a frequência e o diâmetro dos poros e quanto menos obstruídos estiverem, maior a penetração dos adesivos na madeira.

A espécie que apresenta maior frequência de poros é a guajuvira, entretanto, esta é a espécie que apresenta poros de menor diâmetro tangencial. E

as espécies que apresentam as menores frequências de poros e os maiores diâmetros tangenciais são jatobá e tauari.

A área que os poros ocupam na seção transversal calculada a partir das propriedades de frequência e diâmetro dos poros está diretamente relacionada à massa específica da madeira e, conseqüentemente, à qualidade de colagem. Dentre as espécies estudadas, as que apresentam maior e menor área relativa de poros na seção transversal do lenho são: ipê e jatobá, com 12,8% e 4,3%, respectivamente. Os poros das espécies amendoim, guajuvira, muiracatiara e tauari ocupam, em média, 6,8%, 8,4%, 8,8% e 6,2%, respectivamente, da seção transversal da madeira.

5.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS DE MADEIRA

5.2.1 Teor de umidade

Na Tabela 03 estão apresentados os valores médios de teor de umidade da madeira e, entre parênteses, seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 03. TEOR DE UMIDADE MÉDIO DAS ESPÉCIES DURANTE O PROCESSO DE COLAGEM

ESPÉCIE	TEOR DE UMIDADE (%)
Ipê	8,96 (8,43) ^a
Jatobá	9,45 (8,26) ^a
Amendoim	9,54 (8,08) ^a
Tauari	10,35 (6,93) ^b
Muiracatiara	12,04 (3,96) ^{bc}
Guajuvira	12,91 (5,81) ^c

Médias seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita não diferem estatisticamente entre si pelo teste *Tukey* ao nível de significância de 5%.

Observa-se que o ipê apresentou o menor teor de umidade médio entre as espécies, entretanto, não difere estatisticamente das espécies jatobá e amendoim. As espécies tauari e muiracatiara são estatisticamente similares entre si, apesar da

diferença de 1,69 percentuais encontrada. E a espécie guajuvira apresentou o maior teor médio de umidade, mas segundo o teste *Tukey* realizado, assemelha-se à muiracatiara.

É importante ressaltar que, durante os procedimentos de colagem lateral, também foi utilizado um medidor elétrico resistivo e este indicou diferentes teores de umidade em uma mesma peça de madeira, com variação máxima de 2% de umidade.

Com exceção da guajuvira, o teor de umidade das peças variou entre 8 e 12% durante os procedimentos de colagem, consoante ao recomendado pelo Boletim Técnico do adesivo PVAc DORUS KL 245A (HENKEL LTDA, 2010a). Salienta-se que o Boletim Técnico do adesivo EPI não sugere valores de umidade ideal para trabalho (HENKEL LTDA, 2010b). Já o Boletim do adesivo PU indica que a madeira deve possuir teor mínimo de umidade de 8% e que as peças a serem coladas não devem apresentar diferença de umidade entre si superior a 4% (HENKEL LTDA, 2007).

5.2.2 Massa específica básica

Na Tabela 04 estão apresentados os valores médios de massa específica básica da madeira das diferentes espécies, bem como seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 04. VALORES MÉDIOS DE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

ESPÉCIE	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA (g/cm ³)
Guajuvira	0,625 (1,97) ^a
Tuari	0,667 (1,82) ^b
Amendoim	0,699 (4,17) ^c
Muiracatiara	0,709 (4,74) ^c
Jatobá	0,748 (5,47) ^d
Ipê	0,936 (4,04) ^e

Médias de *rank* seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5%.

Conforme pode ser observado na Tabela 04, as madeiras pesquisadas são de média à elevada massa específica e os coeficientes de variação apresentados pelas espécies podem ser considerados adequados para descrever a variabilidade da massa específica básica.

A massa específica da madeira de angiospermas dicotiledôneas é dependente da espessura da parede das fibras e da quantidade de espaço ocupado pelos vasos e parênquimas (WIEDENHOEFT, 2010). Kretschmann (2010) acrescenta que a massa específica da madeira pode estar relacionada à presença de extrativos.

Confrontando os dados da área relativa de poros (Tabela 02) com os da massa específica básica (Tabela 04) observa-se que o ipê se destaca como a espécie de maior massa específica básica, embora apresente 12,8% de área relativa de poros na seção transversal. Além da maior espessura da parede das fibras, acredita-se que os extrativos que obstruem os poros da madeira de ipê contribuem significativamente para a maior massa específica desta espécie. O jatobá, também considerado madeira de elevada massa específica (acima de $0,72\text{g/cm}^3$), no entanto, possui apenas de 4,0 a 4,5% de área ocupada por poros. E as demais espécies apresentam menor massa específica e área relativa de poros variando entre 6,2 e 8,8%.

É importante salientar que as espécies atualmente utilizadas na produção de painéis EGP no Brasil, são de baixa à média massa específica básica: *Tectona grandis* - teca ($0,48$ a $0,64\text{g/cm}^3$), *Pinus elliottii* e *P. taeda* - pinus ($0,32$ a $0,34\text{g/cm}^3$), *E. grandis* - eucalipto ($0,39$ a $0,51\text{g/cm}^3$) e *Ocotea porosa* – imbuia ($0,63\text{g/cm}^3$) (LOBÃO *et al.*, 2011; MOTTA, 2011; TREVISAN *et al.*, 2008; LORENZI, 2002; PANINSHIN; DE ZEEUW, 1980; MOYA *et al.*, 2009; LIMA *et al.*, 2011; QUAQUARELLI *et al.*, 2002; HIGA *et al.*, 1973; BRASIL; FERREIRA, 1971; BRASIL *et al.*, 1979).

Embora a utilização de madeiras de menor massa específica para produção dos painéis EGP se justifique pela maior facilidade de penetração do adesivo nos poros da madeira, sabe-se que a colagem depende, também, dos seguintes fatores: qualidade da superfície de modo que garanta a aproximação das faces a serem coladas; ausência de impurezas como óleos e poeira; presença de extrativos nas cavidades celulares; entre outros fatores referentes aos adesivos, ao processo de colagem e às condições de uso do painel.

5.2.3 Variação dimensional

Na Tabela 05 estão apresentados os valores médios de contração máxima tangencial (βT), radial (βR), longitudinal (βL) e volumétrica (βV), e do coeficiente de anisotropia (A) dos resíduos de madeira das seis espécies estudadas. Entre parênteses estão apresentados seus respectivos coeficientes de variação.

TABELA 05. VALORES MÉDIOS DE CONTRAÇÃO MÁXIMA TANGENCIAL, RADIAL, LONGITUDINAL, VOLUMÉTRICA E COEFICIENTE DE ANISOTROPIA DAS ESPÉCIES ESTUDADAS

ESPÉCIE	βT (%) [*]	βR (%)	βL (%)	βV (%) [*]	A
Amendoim	9,79 (12,50) ^c	4,75 (12,50) ^b	0,28 (59,22) ^{bc}	14,82 (11,25) ^d	2,07 (6,46) ^c
Guajuvira	8,32 (6,25) ^c	4,88 (5,49) ^b	0,10 (72,89) ^a	13,29 (11,25) ^d	1,71 (8,05) ^b
Ipê	6,19 (8,94) ^b	4,84 (13,72) ^b	0,10 (99,29) ^a	11,12 (4,64) ^c	1,29 (10,95) ^a
Jatobá	5,99 (13,10) ^b	2,98 (11,16) ^a	0,26 (51,44) ^{bc}	8,97 (9,63) ^a	2,01 (6,10) ^c
Muiracatiara	6,05 (3,65) ^b	3,13 (9,24) ^a	0,36 (38,80) ^c	9,53 (16,20) ^a	1,95 (9,00) ^c
Tauari	5,72 (7,22) ^a	4,46 (5,03) ^b	0,20 (35,39) ^{ab}	10,29 (3,51) ^b	1,28 (5,88) ^a

Médias seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita numa mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste *Tukey* ao nível de significância de 5%. * Médias de *rank* seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5%.

Kollmann e Coté (1968), entre outros autores, afirmam que, quanto maior a massa específica da madeira, maior sua contração. Entretanto, este fato não foi observado neste estudo. Espécies de elevada massa específica como jatobá e muiracatiara apresentaram baixos valores médios de contração tangencial, radial e volumétrica, enquanto espécies de menor massa específica, como guajuvira e amendoim apresentaram os maiores valores de contração, conforme pode ser observado na Tabela 05.

Em concordância com estes resultados, Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) afirmam errônea a generalização da relação entre retratibilidade e massa específica da madeira. Afirmam ainda que em madeiras densas, a presença de elevados teores de extrativos hidrófobos nas paredes celulares pode refletir na redução da contração volumétrica da madeira. Talvez a presença destes extrativos hidrófobos possa explicar o fato da madeira de ipê não ter apresentado o maior valor

médio de contração volumétrica, mesmo sendo a espécie de maior massa específica entre as espécies estudadas.

Devido ao fato do material utilizado nesta pesquisa se tratar de resíduos sólidos previamente secos na indústria de origem, pode-se afirmar que estes resultados sofreram a influência do fenômeno da histerese.

Os coeficientes de variação apresentados pelas espécies para as contrações tangencial, radial e volumétrica estão próximos de 15%, valor citado por Glass e Zelinka (2010) como valor característico da variabilidade da contração da madeira.

As espécies amendoim, jatobá e muiracatiara apresentaram os maiores valores médios de coeficiente de anisotropia, e as espécies ipê e tauari os menores valores (1,29 e 1,28, respectivamente). De acordo com Nock *et al.* (1975) através do coeficiente de anisotropia, pode-se classificar a madeira como de excelente qualidade (com coeficiente de anisotropia entre 1,2 e 1,5), normal (com coeficiente de anisotropia entre 1,5 e 2,0) e de baixa qualidade (com coeficiente de anisotropia acima de 2,0). Entretanto, sabe-se que o coeficiente de anisotropia não deve ser utilizado isoladamente para determinar a adequação da madeira para determinado uso; mas em conjunto com outras propriedades, pode ser de grande valia na identificação de matérias primas de qualidade.

Considerando somente o parâmetro do coeficiente de anisotropia, à princípio, poderíamos afirmar que os resíduos das espécies ipê e tauari são indicados para usos que não toleram fendilamentos ou empenamentos, por exemplo. Os das espécies guajuvira e muiracatiara seriam classificados como “normais” e os das espécies amendoim e jatobá, como resíduos de madeiras inapropriados para usos que não toleram defeitos decorrentes da variação dimensional da madeira, entretanto, conforme mencionado acima, madeiras com elevado fator de anisotropia podem ser de grande valor comercial por reunirem outras propriedades de interesse.

Na literatura, para a madeira de amendoim foi encontrada um valor de coeficiente de anisotropia de 1,85, para a madeira de guajuvira, 1,91, para a madeira de ipê (nome vulgar que inclui diferentes espécies), valores variando ente 1,12 e 1,75, para a madeira de jatobá, valores variando ente 2,26 e 2,62, para a madeira de muiracatiara, valores variando entre 1,65 e 1,88 e para a madeira de tauari valores entre 1,34 e 1,73 (IBAMA, 2013; VALE *et al.*, 2005; MENDES *et al.*, 2001). Observa-

se que os valores de anisotropia obtidos nesta pesquisa estão próximos dos encontrados na literatura e, de modo geral, esses dados comprovam a variabilidade das propriedades de retratibilidade da madeira para uma mesma espécie.

De acordo com Rezende *et al.* (1995), Glass e Zelinka (2010) e Oliveira, Tomazello Filho e Fiedler (2010) essa variação dimensional pode ser influenciada pelo diâmetro do disco, idade da árvore, tamanho e geometria da madeira, velocidade de secagem, além da massa específica da madeira.

Iwakiri (2005) afirma que a instabilidade dimensional, embora não dificulte a mobilidade do adesivo, pode gerar tensões difusas na linha de cola, comprometendo a performance da ligação. Durante o uso de painéis EGP, quando há variação de umidade da madeira, as espécies que apresentam elevado coeficiente de anisotropia tendem a empenar e exigem maior resistência do adesivo. Portanto, para utilização das espécies de maior variação dimensional é indicado o uso de adesivos que confirmam uma forte adesão entre as peças de madeira, transferindo as tensões entre elas, sem prejuízo da linha de cola.

5.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS RESÍDUOS DE MADEIRA

Os valores médios de teor de extrativos totais e pH dos resíduos de madeira estão apresentados na Tabela 06. Entre parênteses estão seus coeficientes de variação.

TABELA 06. VALORES MÉDIOS DOS TEORES DE EXTRATIVOS TOTAIS E PH

ESPÉCIE	TEOR DE EXTRATIVOS (%)	PH
Tuari	3,40 (2,38) ^a	5,27 (1,11) ^b
Amendoim	7,02 (7,48) ^b	5,20 (0,03) ^b
Guajuvira	11,77 (0,63) ^c	5,90 (0,91) ^c
Muiracatiara	11,90 (1,97) ^{cd}	4,74 (1,56) ^a
Jatobá	12,02 (2,41) ^d	4,53 (1,25) ^a
Ipê	13,02 (3,09) ^e	5,20 (1,14) ^b

Médias de *rank* seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância de 5%.

As espécies ipê e tauari foram as que apresentaram o maior e o menor teor de extrativos, 13,02% e 3,40%, respectivamente. Pastore *et al* (2008) encontraram teor de extrativos ainda mais baixo na madeira de tauari (1,4%).

O ipê assemelha-se muito ao jatobá, por exibir elevado teor de extrativos e massa específica, entretanto, estas espécies diferem quanto à frequência, diâmetro tangencial e área relativa de poros.

Sellers Jr. (1994) comenta que a presença dos extrativos pode auxiliar ou ser prejudicial à colagem e afirma que são eles os responsáveis pelo pH da madeira. Entretanto, observa-se na Tabela 06 que não há relação entre o teor de extrativos e o pH da madeira.

Acredita-se que por estarem nas cavidades intra e intercelulares e/ou impregnados na parede celular, os extrativos podem comprometer a penetração do adesivo na madeira e sua umectação. Quando a madeira é aquecida durante a secagem ou colagem, por exemplo, os extrativos podem migrar para a superfície, como ilustrado na Figura 08. Neste exemplo, os extrativos da madeira de ipê também volatizaram e contaminaram a estufa com cristais amarelos (característico do extrativo ipeína).



FIGURA 08. EXTRATIVOS QUE MIGRARAM PARA A SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE IPÊ (*Tabebuia* spp.). FONTE: A autora (2012)

Neste contexto, pode-se acrescentar que parte dos extrativos dos resíduos de madeira pode ter volatilizado durante a secagem na indústria que os deu origem.

Em relação ao pH da madeira, segundo Iwakiri (2005), o valor médio varia entre 3 e 6. A espécie guajuvira apresentou o maior valor de pH (5,90), enquanto muiracatiara e jatobá apresentaram menores valores (4,74 e 4,53, respectivamente), mas dentro do intervalo esperado. Não foi detectada diferença significativa entre tauari, amendoim e ipê. Embora determinado para caracterizar as espécies

florestais, não foi encontrada na literatura informações sobre a influência do pH da madeira na colagem com os adesivos PVAc, EPI e PU.

5.4 PROPRIEDADES DOS ADESIVOS

Os resultados obtidos para as propriedades estudadas dos adesivos PVAc, EPI e PU e seus respectivos coeficientes de variação (entre parênteses) estão apresentados na Tabela 07.

TABELA 07. VALORES MÉDIOS DE PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS ADESIVOS

ADESIVO	VISCOSIDADE (cP)	TEOR DE SÓLIDOS (%)	PH
PVAc	5.700 (3,72)	54,42 (1,20) ^a	4,0 (1,22)
EPI	10.080 (0,44)	57,82 (0,45) ^b	6,5 (0,15)
PU	-	97,18 (0,13) ^c	-

Médias seguidas de mesma letra minúscula ao longo da coluna, não diferem entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Conforme pode ser observado, as propriedades dos adesivos apresentaram baixos coeficientes de variação. A menor viscosidade do adesivo PVAc, provavelmente, permite maior penetração do adesivo na estrutura da madeira comparado aos demais adesivos. Em contrapartida, os adesivos EPI e PU exigem a aplicação de maior pressão durante a colagem, principalmente quando o aderente é madeira de média a alta massa específica.

O teor de sólidos dos adesivos PVAc e EPI são menores que o do PU devido às suas características intrínsecas de colagem. O adesivo PU não precisa perder a água ou o solvente de sua composição para que sua estrutura química se una e ocorra a cura, pois solidifica pela reação entre os grupos isocianatos e os grupos hidroxilas da madeira, além de reagir com moléculas de água presentes na madeira e no ar atmosférico. Por este motivo, seu tempo de montagem da formulação utilizada é de no máximo 10 (dez) minutos. Preferencialmente, é indicada a união das peças a serem coladas imediatamente após a aplicação do adesivo.

O pH dos adesivos PVAc e EPI estão dentro da faixa de 2,5 a 11, apresentada por Iwakiri (2005), como limite para que o adesivo não cause degradação das fibras de madeira.

Valores de referência destas propriedades são informados pelos Boletins Técnicos de cada adesivo (PVAc – nome comercial: DORUS KL 245A, EPI – nome comercial: DORUS SL 3184 e PU – nome comercial: PURBOND HB S109_E). Para viscosidade e teor de sólidos são apresentados os valores de 4.000, 10.000 e 20.000 cP e 47, 50 e 100%, para os adesivos PVAc, EPI e PU, respectivamente, e para pH, valores de 4,0 e 7,0 para os adesivos PVAc e EPI, respectivamente.

Observa-se que alguns valores obtidos nesta pesquisa diferiram um pouco do informado nos Boletins Técnicos. Essa variação é muito comum, em razão das mudanças que naturalmente ocorrem nos adesivos com o tempo, devido à exposição ao ar durante o desenvolvimento da pesquisa.

O pH e a viscosidade do adesivo poliuretano não foram determinados devido ao risco de inutilizar o pHmetro e o viscosímetro, visto que este adesivo começa a reagir com a umidade do ar imediatamente após sua exposição. Ao contrário da viscosidade, não foram encontradas informações sobre o pH deste adesivo no seu Boletim Técnico (HENKEL LTDA, 2007). Lopes (2008) utilizou adesivos PU de nome comercial PURBOND com as seguintes características: 100% de teor de sólidos, pH neutro e viscosidade variando entre 5000 e 8000 cP.

5.5 RESISTÊNCIA DAS JUNTAS COLADAS AO CISALHAMENTO

5.5.1 Fase 1

5.5.1.1 Juntas coladas com o adesivo PVAc

Nas Tabelas 08 e 09 estão apresentados os valores médios da resistência da colagem lateral ao cisalhamento das juntas de ipê e tauari, respectivamente, coladas com o adesivo PVAc. Conforme mencionado na metodologia desta

pesquisa, a colagem foi realizada com tempo de prensagem de 3, 4 e 5 minutos, em prensa de alta frequência a 6 e 8 kgf/cm² de pressão específica e gramatura de 180 g/m², e os corpos de prova foram submetidos ao pré-tratamento para uso não estrutural seco.

Através da análise de variância, ao nível de significância de 5%, verificou-se que não houve diferença significativa entre as pressões específicas de 6 e 8 kgf/cm² aplicadas para colagem lateral de ipê. Portanto, para esta espécie, apenas o tempo teve efeito na resistência da colagem lateral ao cisalhamento.

TABELA 08. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS JUNTAS COLADAS DE IPÊ COM ADESIVO PVAC

ESPÉCIE	TEMPO (min)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	CV%
Ipê	3	0,17 ^a	99,82
	4	0,97 ^b	91,76
	5	1,39 ^b	51,10

Médias seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Observa-se que, quando a prensagem em alta frequência foi realizada durante 5 (cinco) minutos, a resistência ao cisalhamento das colagens laterais da espécie ipê com adesivo PVAc foi maior. Observa-se também que os coeficientes de variação dos resultados de todas as colagens foram muito elevados, entretanto, podem ser justificados pelos baixos valores de resistência ao cisalhamento.

Os resultados dos ensaios preliminares com PVAc mostraram que não foi possível atingir o valor mínimo do quinto percentil inferior de 2,5 MPa de resistência da linha de cola lateral ao cisalhamento, requisito mínimo preconizado pela norma EN 13353 para painéis de madeira maciça. A fraca ligação entre o adesivo PVAc e madeiras de média a elevada massa específica e, a utilização da prensa de alta frequência podem ser a causa da baixa resistência ao cisalhamento das juntas coladas.

Para a espécie tauari, através da análise de variância, verificou-se que a interação tempo-pressão foi significativa. Conforme pode ser observado na Tabela 09 abaixo, a diferença entre os efeitos das pressões específicas de 6 e 8 kgf/cm² foi significativa apenas para o tempo de 3 (três) minutos pelo teste *Tukey* ao nível de significância de 5%.

TABELA 09. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS JUNTAS COLADAS DE TAUARI COM ADESIVO PVAC

ESPÉCIE	TEMPO (min)	PRESSÃO (kgf/cm ²)	TENSÃO MÁXIMA (Mpa)	CV%
Tauari	3	6	1,66 ^b	40,17
		8	0,76 ^a	98,14
	4	6	0,58 ^a	48,94
		8	0,72 ^a	58,70
	5	6	0,46 ^a	43,41
		8	0,62 ^a	35,47

Médias seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Diferentemente do ipê, para a madeira de tauari, a maior média foi obtida para o tempo de 3 minutos e pressão específica de 6 kgf/cm².

Os resultados deste primeiro teste preliminar condizem com a literatura sobre a possibilidade de aplicação de menor pressão, e/ou tempo de prensagem, para madeiras de menor massa específica (GARCIA; RECH, 2011; HENKEL LTDA, 2010a).

5.5.1.2 Juntas coladas com o adesivo EPI

Devido aos baixos valores de resistência ao cisalhamento obtidos após prensagem em alta frequência no primeiro teste preliminar com adesivo PVAc, para a colagem dos painéis formados com adesivo EPI, foi utilizada a prensa carrossel (prensagem a frio).

Os resultados estão de acordo com Franklin (2001) que afirma que, embora a colagem em alta frequência seja um método de colagem amplamente utilizado atualmente, e que qualquer madeira possa ser colada neste tipo de prensa, na prática, têm-se observado que, para madeiras duras, são obtidos melhores resultados de resistência da linha de cola quando a colagem é realizada a frio, provavelmente devido ao maior tempo de prensagem e, conseqüentemente, maior tempo que o adesivo possui para umectar a estrutura da madeira antes de sua cura.

A análise de variância indicou que há diferença de resistência ao cisalhamento entre as espécies, mas não entre as gramaturas testadas (150 e 200

g/m²). Na Tabela 10 estão apresentados os valores médios e o quinto percentil inferior da resistência da colagem lateral ao cisalhamento das quatro espécies utilizadas neste teste preliminar, coladas com adesivo EPI em prensa fria, com pressão específica de 8 kgf/cm², por 24 horas, submetidas ao pré-tratamento para uso não estrutural seco.

TABELA 10. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS JUNTAS COLADAS COM ADESIVO EPI

ESPÉCIE	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	5° PERCENTIL INFERIOR (MPa)	CV%
Amendoim	7,07 ^a	3,61	25,33
Jatobá	5,03 ^b	3,05	33,97
Muiracatiara	4,79 ^b	3,57	26,19
Guajuvira	4,41 ^b	2,19	21,91

Médias seguidas de mesma letra minúscula sobrescrita ao longo da mesma coluna não diferem entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

O teste de comparações múltiplas indicou que a resistência apresentada pela espécie amendoim é significativamente maior do que a das outras três espécies. E estas espécies (guajuvira, jatobá e muiracatiara) não diferem quanto à resistência da colagem lateral ao cisalhamento.

O menor teor de extrativos da madeira de amendoim, comparada às demais espécies, pode ter contribuído para este resultado. Entretanto, não foi observada influência do pH ou das propriedades físicas da madeira na resistência ao cisalhamento das espécies quando coladas com adesivo EPI, durante os estudos preliminares.

Para as condições experimentais desta pesquisa, o uso do adesivo EPI e a prensagem a frio contribuíram para o aumento da resistência ao cisalhamento da linha de cola lateral, em comparação à colagem com o adesivo PVAc. O quinto percentil inferior foi superior a 2,5 MPa para as espécies estudadas, satisfazendo a condição estabelecida pela norma EN 13353, com exceção das colagens realizadas com sarrafos de guajuvira.

5.5.2 Fase 2

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios e o quinto percentil inferior da resistência da colagem lateral ao cisalhamento dos painéis formados com sarrafos das seis espécies florestais (amendoim, guajuvira, ipê, jatobá, muiracatiara e tauari), colados em prensa fria, com pressão específica de 8 kgf/cm², por 50 minutos, com três adesivos (EPI, PU e PVAc) aplicados em duas gramaturas (150 e 200 g/m²), submetidos à dois pré-tratamentos (uso em condição seca e úmida).

TABELA 11. RESISTÊNCIA DA COLAGEM LATERAL AO CISALHAMENTO

ESPÉCIE	PRÉ-TRAT.	ADESIVO	GRAM. (g/m ²)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	CV (%)	5° PERC.INF. (MPa)
Amendoim	S	EPI	150	8,15	17,77	6,07
			200	8,42	16,53	6,39
		PU	150	7,31	22,80	5,05
			200	8,08	16,00	5,93
		PVAc	150	2,05	41,02	0,96
			200	4,26	26,06	3,06
	U	EPI	150	4,84	30,13	2,82
			200	5,23	22,09	3,42
		PU	150	4,82	23,31	3,60
			200	4,07	40,11	2,53
		PVAc	150	0,74	34,98	0,39
			200	0,82	41,07	0,37
Guajuvira	S	EPI	150	5,21	56,32	1,45
			200	8,07	18,34	5,99
		PU	150	1,66	84,98	0,27
			200	4,10	29,60	2,86
		PVAc	150	0,99	51,13	0,31
			200	1,48	50,53	0,75
	U	EPI	150	2,53	76,20	0,23
			200	5,45	20,21	3,75
		PU	150	1,48	118,69	0,18
			200	3,60	25,41	2,75
		PVAc	150	0,52	51,03	0,23
			200	0,44	50,54	0,13
Ipê	S	EPI	150	0,56	115,24	0,05
			200	0,37	57,67	0,08
		PU	150	0,95	48,38	0,32
			200	12,90	12,48	10,89
		PVAc	150	0,59	135,82	0,13
			200	0,50	102,10	0,13
	U	EPI	150	0,05	164,26	0,00
			200	1,30	83,79	0,09
		PU	150	0,90	69,38	0,15
			200	5,23	33,49	2,84
		PVAc	150	0,35	104,07	0,11
			200	0,35	58,99	0,09

Continua

TABELA 11. RESISTÊNCIA DA COLAGEM LATERAL AO CISALHAMENTO

Conclusão

ESPÉCIE	PRÉ-TRAT.	ADESIVO	GRAM. (g/m ²)	TENSÃO MÁXIMA (MPa)	CV (%)	5° PERC.INF. (MPa)
Jatobá	S	EPI	150	3,40	15,01	2,84
			200	6,42	26,15	4,50
		PU	150	2,51	19,90	2,00
			200	3,20	15,55	2,51
		PVAc	150	0,62	46,31	0,22
			200	0,76	49,99	0,24
	U	EPI	150	1,50	70,76	0,19
			200	1,72	57,43	0,28
		PU	150	2,54	46,18	0,73
			200	4,36	29,15	2,54
		PVAc	150	0,28	44,43	0,14
			200	0,46	67,46	0,08
Muiracatiara	S	EPI	150	3,82	26,18	2,60
			200	6,01	16,94	4,79
		PU	150	2,42	38,29	1,54
			200	4,62	51,47	2,51
		PVAc	150	0,74	47,35	0,33
			200	1,06	79,74	0,34
	U	EPI	150	0,71	62,62	0,27
			200	0,99	68,27	0,29
		PU	150	1,60	47,87	0,88
			200	2,18	72,49	0,79
		PVAc	150	0,54	32,85	0,26
			200	0,42	26,48	0,25
Tauari	S	EPI	150	1,95	41,30	0,84
			200	3,89	31,98	2,56
		PU	150	2,42	38,29	1,54
			200	6,10	43,81	2,54
		PVAc	150	1,03	63,93	0,31
			200	1,06	79,74	0,34
	U	EPI	150	2,15	70,64	0,46
			200	1,86	66,67	0,31
		PU	150	3,43	28,04	2,33
			200	5,49	29,46	3,36
		PVAc	150	0,64	64,22	0,19
			200	0,90	31,71	0,60

Pré-trat. = pré-tratamentos; Gram. = gramatura; CV% = coeficiente de variação; 5° perc. Inf. = 5° percentil inferior; S = pré-tratamento para uso em condição seca (SWP/1); U = pré-tratamento para uso em condição úmida (SWP/2); negrito = resultados que atenderam ao requisito mínimo da norma EN 13353 (2008).

Devido ao grande número de dados, na Tabela 11 foram destacados em negrito os valores que atenderam ao requisito mínimo da norma EN 13353 de 2,5 MPa para o quinto percentil inferior de resistência da colagem lateral ao cisalhamento de painéis de madeira maciça. Portanto, em destaque estão os tratamentos que, segundo as condições experimentais, podem ser utilizados para produção de painéis colados lateralmente.

Seguindo este parâmetro de qualidade da junta lateral, pode-se afirmar que as espécies amendoim, jatobá e muiracatiara podem ser coladas com o adesivo EPI com gramatura de 150 g/m² e, nestas condições, somente a espécie amendoim pode ser aproveitada para produção de painéis colados lateralmente para uso não estrutural em condições úmidas, ou seja, em aplicações externas protegidas, ou expostas ao intemperismo por curtos períodos. As demais espécies podem ser utilizadas apenas para uso não estrutural seco, ou seja, em ambientes internos onde não há risco da madeira ser molhada.

As espécies guajuvira e tauari também podem ser coladas com o adesivo EPI, contudo, é necessário que o adesivo seja aplicado com gramatura de 200 g/m² para que ocorra uma colagem lateral satisfatória e, nestas condições, somente a espécie guajuvira pode ser aproveitada para produção de painéis para uso não estrutural em condições úmidas.

O adesivo EPI, segundo os parâmetros experimentais desta pesquisa, não deve ser utilizado para a colagem de painéis EGP de ipê, visto que as colagens realizadas, independente da gramatura, não apresentaram qualidade satisfatória.

As seis espécies florestais podem ser coladas lateralmente com o adesivo PU, aplicado com gramatura de 200 g/m² e, a redução da gramatura para 150 g/m² é indicada apenas à espécie amendoim. Com exceção da espécie muiracatiara, as colagens com este adesivo, nas condições supracitadas, podem ser aproveitadas tanto para uso não estrutural seco como úmido. Entretanto, para a espécie muiracatiara indica-se apenas o uso não estrutural seco, ou seja, uso em ambientes internos onde a madeira não corra o risco de ser molhada.

Através da Tabela 11, observa-se também que somente a espécie amendoim apresentou boa qualidade de colagem, quando utilizado o adesivo PVAc com gramatura de 200 g/m². A resistência ao cisalhamento das colagens laterais das demais espécies com o adesivo PVAc não atenderam à norma EN 13353 (2008).

As colagens laterais apresentaram, em sua maioria, elevado coeficiente de variação. Tal fato pode ser explicado pela presença de defeitos, como pequenos nós e furos de insetos, presentes no material utilizado. Observa-se, entretanto, que os maiores coeficiente de variação se referem aos menores valores médios de resistência ao cisalhamento, principalmente para as colagens que romperam imediatamente após o início do ensaio mecânico.

Ao nível de significância de 5%, todos os fatores testados nesta pesquisa (espécie, adesivo e gramatura) e a interação de ordem 3 (espécie – adesivo – gramatura) se mostraram significativos com relação à resistência ao cisalhamento das juntas coladas, tanto após o pré-tratamento para uso em condição seca, quanto após o pré-tratamento para uso em condição úmida.

5.5.2.1 Pré-tratamento para uso em condição seca

Através da Tabela 12, considerando o pré-tratamento seco, é possível observar o efeito do adesivo para cada combinação de espécie e gramatura, pela comparação das letras maiúsculas em cada coluna, considerando cada espécie separadamente, assim como o efeito da gramatura para cada combinação de espécie e adesivo pela comparação das letras minúsculas ao longo das linhas.

TABELA 12. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS DIFERENTES ESPÉCIES PARA OS TRÊS TIPOS DE ADESIVOS COM GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ESPÉCIE	ADESIVO	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
Amendoim	EPI	8,15 ^{Aa}	8,42 ^{Aa}
	PU	7,31 ^{Aa}	8,08 ^{Aa}
	PVAc	2,04 ^{Bb}	4,26 ^{Ba}
Guajuvira	EPI	5,21 ^{Ab}	8,07 ^{Aa}
	PU	1,66 ^{Bb}	4,10 ^{Ba}
	PVAc	0,98 ^{Ba}	1,48 ^{Ca}
Ipê	EPI	0,55 ^{Aa}	0,37 ^{Ba}
	PU	0,95 ^{Ab}	12,90 ^{Aa}
	PVAc	0,58 ^{Aa}	0,50 ^{Ba}
Jatobá	EPI	3,40 ^{Ab}	6,42 ^{Aa}
	PU	2,51 ^{Aa}	3,20 ^{Ba}
	PVAc	0,62 ^{Ba}	0,76 ^{Ca}

Continua

		Conclusão	
ESPÉCIE	ADESIVO	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
Muiracatiara	EPI	3,82 ^{Ab}	6,01 ^{Aa}
	PU	2,42 ^{Ab}	4,62 ^{Aa}
	PVAc	0,74 ^{Ba}	1,06 ^{Ba}
Tauari	EPI	1,95 ^{Ab}	3,89 ^{Ba}
	PU	2,42 ^{Ab}	6,10 ^{Aa}
	PVAc	1,03 ^{Aa}	1,06 ^{Ca}

Médias ao longo das colunas, para cada espécie, seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas e ao longo das linhas seguidas de mesmas letras minúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Através da Tabela 12 observa-se que, para todas as espécies e em ambas as gramaturas, o uso do adesivo PVAc resultou, em média, em menor resistência ao cisalhamento, exceto para as colagens com o ipê e, neste caso, não diferiu do adesivo EPI. Além disso, não houve diferença significativa nos valores de resistência entre os adesivos EPI e PU, na maior parte das configurações de espécie e gramatura, com as seguintes exceções: o adesivo EPI apresentou resistência média significativamente maior que o adesivo PU para a espécie guajuvira (em ambas as gramaturas) e para a espécie jatobá (com gramatura de 200 g/m²); e o adesivo PU apresentou resistência média significativamente maior que o adesivo EPI para as espécies ipê e tauari (com gramatura de 200 g/m²).

Embora o adesivo PVAc apresente menor viscosidade (5.700 cP), teor de sólidos (54,42%) e pH (4,0), comparado aos adesivos EPI e PU, acredita-se que tais propriedades não sejam a causa dos baixos valores de resistência ao cisalhamento pois, estas propriedades estão dentro do padrão para este tipo de adesivo. Além disso, madeiras de alta massa específica, geralmente, apresentam maior qualidade de colagem quando são coladas com adesivos de baixa viscosidade, que conseguem penetrar com maior facilidade na estrutura porosa da madeira e formar um enganchamento mecânico.

Possivelmente, o melhor desempenho dos adesivos EPI e PU se justifica por suas propriedades intrínsecas de adesão à madeira. A cura destes adesivos ocorre pela reação de seus grupos de isocianato com os grupos hidroxilas da madeira, promovendo a adesão química. Em contrapartida, a cura do adesivo PVAc ocorre

pela perda de água e união da sua estrutura química (moléculas de acetato de vinila), caracterizando-se por uma colagem menos resistente.

O aumento da gramatura dos adesivos EPI e PU contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento das espécies guajuvira, muiracatiara e tauari. Para as espécies amendoim, ipê e jatobá, o aumento da gramatura foi significativo somente para os adesivos PVAc, PU e EPI, respectivamente. O uso de maior gramatura dos adesivos justifica-se para estas configurações em que houve diferença significativa entre as gramaturas testadas, visando atingir maior qualidade da junta colada. Entretanto, para as demais configurações, em que não houve diferença significativa entre as gramaturas, deve-se optar pela gramatura de 150 g/m², o que constitui uma vantagem econômica.

Através da Tabela 13 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas, coladas com o adesivo EPI, com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 13. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO EPI NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
EPI	Amendoim	8,15 ^A	8,42 ^A
	Guajuvira	5,21 ^B	8,07 ^{AB}
	Muiracatiara	3,82 ^{BC}	6,01 ^C
	Jatobá	3,40 ^{CD}	6,42 ^{BC}
	Tauari	1,95 ^{DE}	3,89 ^D
	Ipê	0,55 ^{DE}	0,37 ^E

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 13 nota-se que as espécies amendoim e guajuvira, quando coladas com EPI, em ambas as gramaturas (150 e 200 g/m²), foram as que proporcionaram maior resistência da colagem lateral ao cisalhamento, enquanto a espécie ipê, a menor resistência. As demais espécies apresentaram resistência intermediária. E, exceto para o ipê, o aumento da gramatura do adesivo EPI contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento, em termos de médias absolutas.

O elevado teor de umidade, o maior pH e a menor massa específica da madeira de guajuvira, comparada às demais espécies, podem ter contribuído para a maior resistência ao cisalhamento, quando utilizado o adesivo EPI em ambas as gramaturas. Do mesmo modo, o baixo teor de umidade, a maior massa específica e o maior teor de extrativos da madeira de ipê, podem ter dificultado sua colagem lateral. A madeira de amendoim, embora tenha apresentado teor de umidade estatisticamente igual ao do ipê, apresenta menores valores médios de massa específica e teor de extrativos.

Através da Tabela 14 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas, coladas com o adesivo PU com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 14. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PU NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
PU	Amendoim	7,31 ^A	8,08 ^B
	Jatobá	2,51 ^B	3,20 ^D
	Tauari	2,42 ^B	6,10 ^C
	Muiracatiara	2,42 ^B	4,62 ^{CD}
	Guajuvira	1,66 ^B	4,10 ^D
	Ipê	0,95 ^B	12,90 ^A

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Para o adesivo PU, quando aplicado com gramatura de 150 g/m², novamente, o amendoim apresentou a maior resistência da colagem lateral ao cisalhamento, sendo estatisticamente diferente das demais espécies.

Quando o adesivo PU foi aplicado com gramatura de 200 g/m², a espécie ipê destacou-se como a de maior resistência, seguida da espécie amendoim. Para esta configuração, as espécies jatobá, muiracatiara e guajuvira foram as que apresentaram as menores resistências da colagem lateral ao cisalhamento.

Os baixos teores de extrativos das espécies amendoim e tauari (3,40 e 7,02%, respectivamente), provavelmente, contribuíram para o bom desempenho destas espécies quando coladas com PU com gramatura de 200g/m².

Em termos de médias absolutas, o aumento da gramatura do adesivo PU contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento. Para a espécie ipê, este aumento da resistência é muito expressivo, visto que as colagens desta espécie com o adesivo PU com gramatura de 150 g/m², assim como as colagens com os demais adesivos em ambas as gramaturas, não apresentaram resistência ao cisalhamento satisfatória. Portanto, para a espécie ipê, o PU foi o único adesivo que proporcionou resistência suficiente para atender ao requisito mínimo da norma EN13353 para painéis de madeira maciça.

Conforme mencionado anteriormente, o adesivo PU reage com os grupos hidroxilas da celulose da madeira, com a água adsorvida na madeira e dispersa no ar, portanto, esperava-se que as espécies de maior teor de umidade – guajuvira e muiracatiara – apresentassem maior resistência ao cisalhamento da colagem lateral, mas esse efeito não foi observado. Ao contrário, quando aplicado com gramatura de 200 g/m², o adesivo PU proporcionou maior resistência à espécie de menor teor de umidade (8,96%), o ipê.

Gao *et al.* (2005), contrariando o conceito de que o maior teor de umidade da madeira contribui para a ligação entre a madeira e o adesivo PU, afirmam que quando o teor de umidade da celulose aumenta, a velocidade da reação entre os grupos isocianatos e a celulose diminui, e a velocidade da reação entre os grupos isocianatos com a água aumenta, reduzindo a ligação entre os grupos isocianatos e a madeira. Isso explicaria parcialmente os resultados obtidos com o adesivo PU, visto que as espécies de maior teor de umidade (muiracatiara e guajuvira) apresentam baixas resistências ao cisalhamento. O fato de estas espécies apresentarem 11,90% e 11,77% de teor de extrativos, respectivamente, também pode ter contribuído para este resultado.

A baixa resistência ao cisalhamento da colagem lateral de ipê quando o adesivo PU é aplicado com gramatura de 150 g/m² pode ser explicada pela insuficiente quantidade de adesivo na linha de cola. E a baixa resistência da madeira de jatobá, que apresenta baixo teor de umidade, elevado teor de extrativos e massa específica, talvez possa ser explicada pela menor área relativa de poros na seção transversal e, conseqüentemente, menor penetração do adesivo na madeira.

Através da Tabela 15 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas coladas com o adesivo PVAc com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 15. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PVAc NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
PVAc	Amendoim	2,04 ^A	4,26 ^A
	Tuari	1,03 ^B	1,06 ^B
	Guajuvira	0,98 ^B	1,48 ^B
	Muiracatiara	0,74 ^B	1,06 ^B
	Jatobá	0,62 ^B	0,76 ^B
	Ipê	0,58 ^B	0,50 ^B

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Ao analisar a Tabela 15 nota-se que, para o adesivo PVAc, aplicado em ambas gramaturas, as juntas coladas das espécies são iguais estatisticamente, com exceção da espécie amendoim, que apresenta a maior média de resistência ao cisalhamento.

Comparadas às demais espécies, ipê e jatobá foram as que apresentaram os maiores teores de extrativos e massas específicas. Essas propriedades podem ter influenciado negativamente na qualidade da colagem lateral. O ipê e o jatobá também apresentaram os menores teores de umidade, entretanto, o baixo teor de umidade não deve ter prejudicado a colagem lateral, considerando que a cura do adesivo PVAc se dá por perda de água por difusão na madeira.

Em termos de médias absolutas, o aumento da gramatura do adesivo PVAc contribuiu para o aumento da resistência ao cisalhamento da linha de cola lateral, exceto para a espécie ipê.

Em resumo, e considerando os três adesivos e as colagens submetidas ao pré-tratamento para uso não estrutural seco, onde não há risco da madeira ser molhada, observa-se que a espécie amendoim apresentou resistência da colagem lateral ao cisalhamento significativamente maior que as demais (em alguns casos junto com uma ou mais espécies) para todas as combinações de tratamentos

(gramatura e adesivo), exceto para a combinação PU e 200 g/m², em que a espécie ipê foi aquela que apresentou maior resistência. No entanto, a espécie ipê apresentou maior variabilidade com relação à resistência se comparada às demais espécies.

5.5.2.1.1 Correlações entre massa específica básica e resistência ao cisalhamento

Na Figura 09 estão apresentados os gráficos de correlação entre a massa específica básica de 60 corpos de prova e seus respectivos valores de resistência ao cisalhamento da linha de cola lateral.

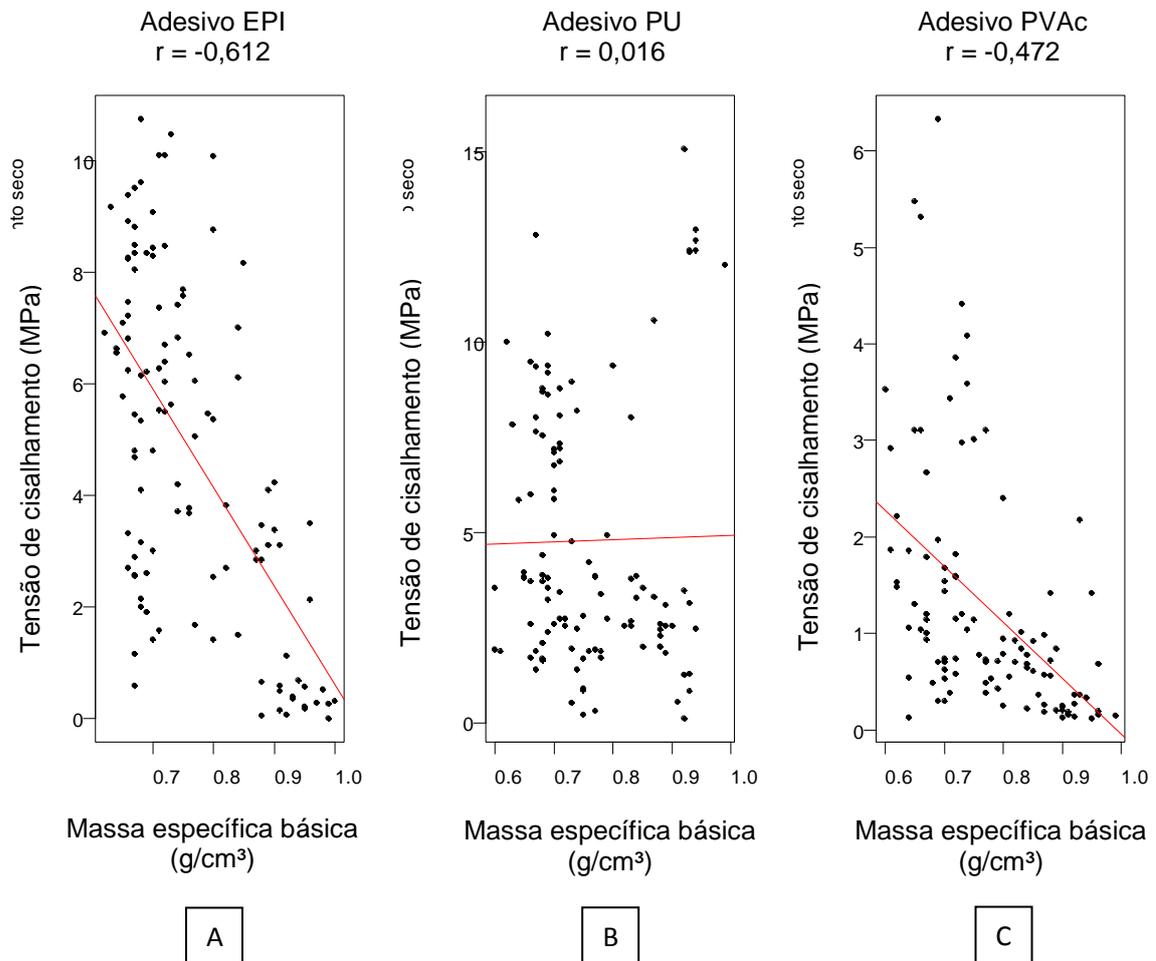


FIGURA 09. CORRELAÇÕES ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DE CORPOS DE PROVA PRODUZIDOS COM OS ADESIVOS EPI (A), PU (B) E PVAC (C).

As correlações entre massa específica básica e tensão de cisalhamento após pré-tratamento para uso não estrutural seco, são negativas para os adesivos EPI e PVAc, e nula para o adesivo PU. Para os adesivos EPI e PVAc as magnitudes são pequenas (coeficiente de *Pearson* (r) de -0,612 e -0,472, respectivamente), indicando correlações fracas entre tais variáveis.

Embora as correlações sejam muito fracas, constata-se um comportamento diferenciado para cada tipo de adesivo, provavelmente devido às suas propriedades químicas e físicas peculiares como viscosidade, teor de sólidos e pH.

5.5.2.1.2 Correlações entre teor de umidade e resistência ao cisalhamento

Na Figura 10 estão apresentados os gráficos de correlação entre o teor de umidade de 60 corpos de prova e seus respectivos valores de resistência da colagem lateral ao cisalhamento.

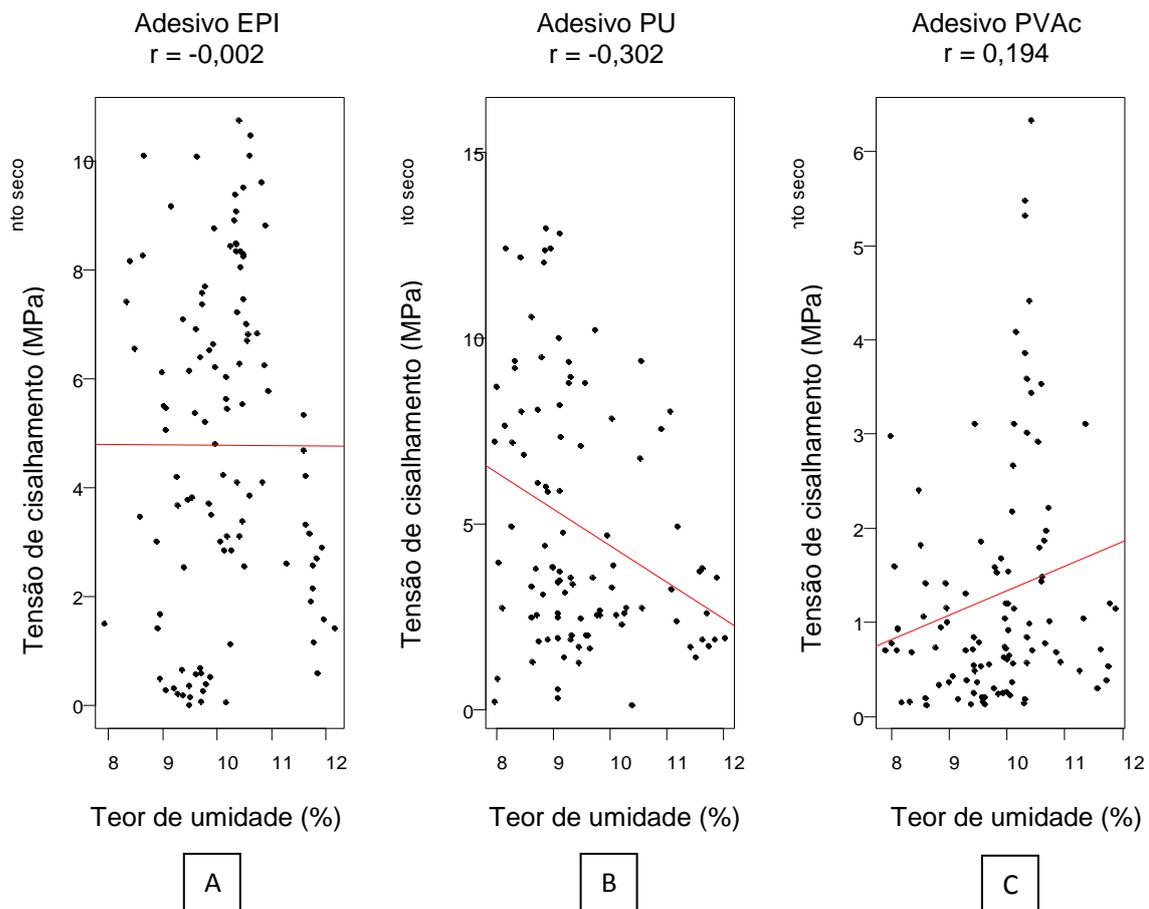


FIGURA 10. CORRELAÇÕES ENTRE TEOR DE UMIDADE E RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DE CORPOS DE PROVA PRODUZIDOS COM OS ADESIVOS EPI (A), PU (B) E PVAC (C)

As correlações entre teor de umidade dos corpos de prova e suas respectivas resistências ao cisalhamento, após pré-tratamento para uso não estrutural seco, também, são muito fracas ou nulas. Além da baixa correlação entre estes fatores, observa-se que o teor de umidade dos corpos de prova, antes do pré-tratamento para uso em condição seca, variou entre 8 e 12%.

5.5.2.2 Pré-tratamento para uso em condição úmida

O que está em amarelo corresponde aos resultados do pré-tratamento úmido que ainda tenho que discutir:

Através da Tabela 16, considerando o pré-tratamento úmido é possível observar o efeito do adesivo para cada combinação de espécie e gramatura, pela comparação das letras maiúsculas em cada coluna, considerando cada espécie separadamente, assim como o efeito da gramatura para cada combinação de espécie e adesivo pela comparação das letras minúsculas ao longo das linhas.

TABELA 16. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS DIFERENTES ESPÉCIES PARA OS TRÊS TIPOS DE ADESIVOS COM GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO ÚMIDO

ESPÉCIE	ADESIVO	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
Amendoim	EPI	4,84 ^{Aa}	5,23 ^{Aa}
	PU	4,82 ^{Aa}	4,07 ^{Aa}
	PVAc	0,74 ^{Ba}	0,82 ^{Ba}
Guajuvira	EPI	2,53 ^{Ab}	5,45 ^{Aa}
	PU	1,48 ^{Ab}	3,60 ^{Ba}
	PVAc	0,52 ^{Ba}	0,44 ^{Ca}
Ipê	EPI	0,05 ^{Aa}	1,30 ^{Ba}
	PU	0,90 ^{Ab}	5,23 ^{Aa}
	PVAc	0,35 ^{Aa}	0,35 ^{Ba}
Jatobá	EPI	1,50 ^{Aba}	1,72 ^{Ba}
	PU	2,54 ^{Ab}	4,36 ^{Aa}
	PVAc	0,28 ^{Ba}	0,46 ^{Ba}
Muiracatiara	EPI	0,71 ^{Aba}	0,99 ^{ABa}
	PU	1,60 ^{Aa}	2,18 ^{Aa}
	PVAc	0,54 ^{Aa}	0,42 ^{Ba}
Tauari	EPI	2,15 ^{Aa}	1,86 ^{Ba}
	PU	3,43 ^{Ab}	5,49 ^{Aa}
	PVAc	0,64 ^{Ba}	0,90 ^{Ba}

Médias ao longo das colunas, para cada espécie, seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas e ao longo das linhas seguidas de mesmas letras minúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Através da Tabela 16 observa-se que, após pré-tratamento para uso em condição úmida, para todas as espécies, as colagens laterais com os adesivos EPI e PU com gramatura de 150 g/m² não diferiram entre si e, quando utilizada a gramatura de 200 g/m², também não houve diferença significativa para as espécies amendoim e muiracatiara. Entretanto, as colagens com o adesivo EPI apresentaram maior resistência que as colagens com o adesivo PU quando utilizados para a espécie guajuvira. E, para as colagens das espécies ipê, jatobá e tauari, os adesivos

EPI e PVAc não diferiram entre si e apresentaram menor resistência ao cisalhamento que o adesivo PU.

Entre os adesivos pesquisados, o PU, aplicado na gramatura de 200 g/m², foi o único que resultou em qualidade satisfatória para colagem das espécies ipê, jatobá e tauari, possibilitando a utilização destas espécies em painéis de aplicações não estruturais em ambientes externos protegidos ou expostos ao intemperismo por curtos períodos, de acordo com a norma europeia EN13353.

O aumento da gramatura do adesivo PU contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento das espécies guajuvira, ipê, jatobá e tauari. Para a espécie amendoim, o aumento da gramatura do adesivo EPI também foi significativo, contribuindo para a maior qualidade da junta colada. Entretanto, para as demais configurações, não houve diferença significativa entre as gramaturas, devendo-se optar pela gramatura de 150 g/m², o que constitui uma vantagem econômica.

Através da Tabela 17 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas, coladas com o adesivo EPI, com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 17. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO EPI NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO ÚMIDO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
EPI	Amendoim	4,84 ^A	5,23 ^A
	Guajuvira	2,53 ^B	5,45 ^A
	Tauari	2,15 ^{BC}	1,86 ^B
	Jatobá	1,50 ^{BCD}	1,72 ^B
	Muiracatiara	0,71 ^{CD}	0,99 ^B
	Ipê	0,05 ^D	1,30 ^B

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 17 nota-se que a espécie amendoim, quando colada com EPI, com gramatura de 150 g/m², foi a que proporcionou maior resistência da colagem

lateral ao cisalhamento, enquanto a espécie ipê, a menor resistência, embora não se diferencie estatisticamente das espécies jatobá e muiracatiara.

Quando o adesivo EPI foi aplicado com gramatura de 200 g/m², além da espécie amendoim, a guajuvira também se destaca por apresentar elevada resistência ao cisalhamento após pré-tratamento para uso em condições úmidas. As demais espécies apresentaram baixa resistência e não se diferenciaram entre si estatisticamente.

Exceto para a espécie tauari, o aumento da gramatura do adesivo EPI contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento, em termos de médias absolutas.

Através da Tabela 18 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas, coladas com o adesivo PU com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 18. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PU NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO ÚMIDO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
PU	Amendoim	4,82 ^A	4,07 ^{AB}
	Tuari	3,43 ^{AB}	5,49 ^A
	Jatobá	2,54 ^{BC}	4,36 ^{AB}
	Muiracatiara	1,60 ^C	2,18 ^C
	Guajuvira	1,48 ^C	3,60 ^{BC}
	Ipê	0,90 ^C	5,23 ^A

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 18 nota-se que as espécies amendoim e tauari, quando coladas com PU, com gramatura de 150 g/m², foram as que proporcionaram maior resistência da colagem lateral ao cisalhamento após pré-tratamento para uso em condições úmidas, e as demais espécies não se diferenciaram entre si.

Quando o adesivo PU foi aplicado com gramatura de 200 g/m², as espécies amendoim, tauari, jatobá e ipê apresentaram as maiores médias de resistência ao cisalhamento.

Exceto para a espécie amendoim, o aumento da gramatura do adesivo EPI contribuiu para o aumento da resistência da colagem lateral ao cisalhamento, em termos de médias absolutas.

Através da Tabela 19 é possível analisar a resistência ao cisalhamento das juntas das seis espécies estudadas, coladas com o adesivo PVAc com gramaturas de 150 e 200 g/m², através da comparação das letras maiúsculas em cada coluna.

TABELA 19. RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa) DAS JUNTAS COLADAS DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PVAc NAS GRAMATURAS DE 150 E 200 G/M² APÓS PRÉ-TRATAMENTO ÚMIDO

ADESIVO	ESPÉCIE	GRAMATURA (g/m ²)	
		150	200
PVAc	Amendoim	0,74 ^A	0,82 ^A
	Tauari	0,64 ^A	0,90 ^A
	Muiracatiara	0,54 ^A	0,41 ^A
	Guajuvira	0,52 ^A	0,44 ^A
	Ipê	0,35 ^A	0,35 ^A
	Jatobá	0,28 ^A	0,46 ^A

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Quando utilizado o adesivo PVAc, os valores médios de resistência ao cisalhamento, após pré-tratamento para uso em condições úmidas, foram muito baixos e não apresentaram diferença estatística entre si.

Com base nos resultados apresentados e considerando ambos os pré-tratamentos, a espécie amendoim apresenta-se como a mais indicada para produção de painéis EGP. Para esta espécie, diferentemente do que ocorre para as demais, não se verificou diferença significativa de resistência ao cisalhamento entre as duas gramaturas e entre os adesivos EPI e PU, indicando que, mesmo quando aplicados com gramatura de 150 g/m², estes dois adesivos proporcionam elevadas resistências da colagem lateral ao cisalhamento. A espécie amendoim também foi a única que apresentou boa resistência da colagem lateral ao cisalhamento quando colada com o adesivo PVAc, entretanto, só atingiu qualidade de colagem satisfatória quando o PVAc foi aplicado com gramatura de 200 g/m², após pré-tratamento para uso em condições secas.

Nota-se que, comparada às demais espécies, a madeira de amendoim apresenta propriedades físicas e químicas com valores médios intermediários; e que madeira de ipê, que apresentou a menor resistência ao cisalhamento na maioria das configurações de adesivo e gramatura, após ambos os pré-tratamentos, apresenta elevados valores médios de massa específica básica e teor de extrativos.

5.6 RESISTÊNCIA DAS EMENDAS DE TOPO À FLEXÃO ESTÁTICA

Na Tabela 20 estão apresentados os valores médios e os respectivos coeficientes de variação da resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*”, formadas com sarrafos das seis espécies florestais e três adesivos (EPI, PU e PVAc) com gramatura de 200 g/m², submetidas à três pré-tratamentos (S = seco, A = três ciclos em água e F = fervura).

TABELA 20. RESISTÊNCIA DAS EMENDAS DE TOPO À FLEXÃO ESTÁTICA

ESP.	PRÉ-T.	ADES.	MOR (MPa)	CV (%)	ESP.	PRÉ-T.	ADES.	MOR (MPa)	CV (%)
Amendoim	S	EPI	49,69	6.84	Jatobá	S	EPI	45,46	17.95
		PU	38,70	16.47			PU	34,29	15.99
		PVAc	45,59	9.10			PVAc	51,71	17.27
	A	EPI	58,84	7.86		A	EPI	70,48	9.39
		PU	48,85	19.45			PU	60,65	12.61
		PVAc	48,61	17.24			PVAc	77,33	20.02
	F	EPI	49,56	7.54		F	EPI	35,51	10.37
		PU	43,81	18.57			PU	42,01	14.50
		PVAc	41,16	13.72			PVAc	45,34	17.59
Guajuvira	S	EPI	46,08	14.27	Muiracatiara	S	EPI	46,53	12.21
		PU	42,04	13.87			PU	29,09	13.09
		PVAc	48,87	12.61			PVAc	20,76	9.70
	A	EPI	62,74	18.75		A	EPI	69,13	13.02
		PU	45,98	13.97			PU	43,59	16.74
		PVAc	33,70	9.03			PVAc	33,95	12.38
	F	EPI	40,64	12.62		F	EPI	51,02	7.06
		PU	44,15	9.41			PU	38,21	16.27
		PVAc	31,08	15.21			PVAc	25,77	13.41
Ipê	S	EPI	55,77	14.15	Tauari	S	EPI	60,63	15.06
		PU	38,15	14.11			PU	48,55	14.61
		PVAc	53,13	11.70			PVAc	62,90	8.26
	A	EPI	54,03	14.35		A	EPI	50,28	12.51
		PU	49,41	16.47			PU	52,03	14.64
		PVAc	49,86	9.15			PVAc	47,57	22.69
	F	EPI	33,47	14.70		F	EPI	47,40	11.36
		PU	41,93	10.44			PU	48,79	13.79
		PVAc	41,10	9.29			PVAc	35,38	8.82

* ESP. = espécie; PRÉ-T. = pré-tratamento; ADES. = adesivo; S = seco; A = três ciclos em água; F = fervura; MOR = módulo de ruptura; CV % = coeficiente de variação.

Conforme pode ser observado na Tabela 20, as emendas de topo “*finger joint*”, de todas as espécies, apresentaram elevada resistência mecânica à flexão estática, superando os requisitos mínimos exigidos pela norma ASTM 5572 (2006) de 13,8 MPa para as emendas submetidas ao pré-tratamento seco, de 6,9 MPa para as emendas submetidas ao pré-tratamento de “três ciclos em água” e, de 9,7 MPa para as emendas submetidas ao pré-tratamento de fervura. Observa-se, também, baixos coeficientes de variação, sendo os maiores valores encontrados para as emendas de topo das espécies jatobá e tauari, com o adesivo PVAc após pré-tratamento de três ciclos em água.

Por atender aos requisitos mínimos da norma ASTM 5572, após os pré-tratamentos seco e de três ciclos em água, pode-se afirmar que as emendas de topo “*finger joint*”, formadas com os adesivos EPI, PU e PVAc, são capazes de produzir resistência e durabilidade suficientes para serem utilizadas na formação de painéis EGP de uso não estrutural seco, onde a umidade de equilíbrio da madeira não exceda 16%.

Para classificar os adesivos como apropriados para a formação de produtos de madeira colada de uso não estrutural úmido, seria necessário submeter as emendas ao pré-tratamento à vácuo. Embora este pré-tratamento não tenha sido realizado, os demais pré-tratamentos exigidos para esta condição de uso (pré-tratamentos seco e de fervura), conforme mencionado acima, atendem aos requisitos mínimos da norma ASTM 5572 (2006).

Através da análise de variância, foi possível observar que os dois fatores (espécies e adesivos) e sua correspondente interação produziram alteração significativa na resistência das emendas de topo “*finger joint*” à flexão estática após os pré-tratamentos curado (seco), três ciclos em água e fervura.

5.6.1 Pré-tratamento curado (seco)

Através da Tabela 21 é possível observar o efeito do adesivo para cada espécie, após pré-tratamento seco, pela comparação das letras maiúsculas em uma mesma coluna, considerando cada espécie separadamente.

TABELA 21. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ESPÉCIES E ADESIVOS APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ESPÉCIE	ADESIVO	MOR (MPa)
Amendoim	EPI	49,69 ^A
	PU	38,70 ^B
	PVAc	45,59 ^A
Guajuvira	EPI	46,08 ^{AB}
	PU	42,04 ^B
	PVAc	48,87 ^A
Ipê	EPI	55,77 ^A
	PU	38,15 ^B
	PVAc	53,13 ^A
Jatobá	EPI	45,46 ^A
	PU	34,29 ^B
	PVAc	51,71 ^A
Muiracatiara	EPI	46,53 ^A
	PU	29,09 ^B
	PVAc	20,76 ^C
Tauari	EPI	60,63 ^A
	PU	48,55 ^B
	PVAc	62,90 ^A

Médias ao longo das colunas, para cada espécie, seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

De acordo com a Tabela 21, exceto para a espécie muiracatiara, quando submetidas ao pré-tratamento seco, as emendas formadas com os adesivos EPI e PVAc resultaram em maior resistência à flexão estática e, exceto para a espécie guajuvira, se diferenciam estatisticamente das formadas com o adesivo PU.

Para a espécie muiracatiara, as emendas de topo formadas com o adesivo EPI apresentaram resistência à flexão estática superior às formadas com o adesivo PU e, estas, apresentaram resistência superior às formadas com o adesivo PVAc.

Através da Tabela 22 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo "*finger joint*" das seis espécies estudadas, após pré-tratamento seco, coladas com o adesivo EPI.

TABELA 22. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO EPI APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
EPI	Tuari	60,63 ^A
	Ipê	55,77 ^{AB}
	Amendoim	49,69 ^{BC}
	Muiracatiara	46,53 ^C
	Guajuvira	46,08 ^C
	Jatobá	45,46 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 22 nota-se que as espécies tauari e ipê, coladas com o adesivo EPI e submetidas ao pré-tratamento seco, foram as que proporcionaram maior resistência das emendas de topo à flexão estática.

Não foi observada nenhuma relação entre as propriedades físicas e químicas dos resíduos de madeira utilizados e a resistência à flexão estática das emendas coladas com o adesivo EPI. Em relação ao teor de extrativos totais, por exemplo, as espécies tauari e ipê apresentaram o menor e o maior teor, respectivamente.

Através da Tabela 23 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento seco, coladas com o adesivo PU.

TABELA 23. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PU APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PU	Tuari	48,55 ^A
	Guajuvira	42,04 ^{AB}
	Amendoim	38,70 ^B
	Ipê	38,15 ^B
	Jatobá	34,29 ^{BC}
	Muiracatiara	29,09 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Através da análise da Tabela 23, observa-se que, quando utilizado o adesivo PU, a espécie tauari é estatisticamente igual à guajuvira, mas difere das demais espécies. As espécies guajuvira, amendoim, ipê e jatobá não se diferenciam entre si, assim como as espécies jatobá e muiracatiara. E, esta última, é estatisticamente diferente das demais espécies, sendo a espécie que apresentou a menor resistência à flexão estática.

As espécies ipê, jatobá e muiracatiara, entre as espécies pesquisadas, foram as que apresentam os maiores teores de extrativos totais e valores médios de massa específica básica. Tais propriedades podem ter contribuído para redução a resistência à flexão estática, quando utilizado o adesivo PU.

Através da Tabela 24 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento seco, coladas com o adesivo PVAc.

TABELA 24. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PVAc APÓS PRÉ-TRATAMENTO SECO

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PVAc	Tuari	62,90 ^A
	Ipê	53,13 ^B
	Jatobá	51,71 ^B
	Guajuvira	48,87 ^B
	Amendoim	45,59 ^B
	Muiracatiara	20,76 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Observa-se, na Tabela 24, que as emendas de topo da espécie tauari apresentaram resistência à flexão estática superior às demais espécies que, com exceção da espécie muiracatiara, não se diferenciam entre si. A espécie muiracatiara apresentou a menor resistência à flexão estática quando utilizado o adesivo PVAc.

Para as colagens de topo com os três adesivos, submetidas ao pré-tratamento curado (seco), a espécie tauari, que apresenta o menor teor de extrativos e baixa massa específica, foi a espécie que apresentou a maior resistência à flexão

estática. E a espécie muiracatiara apresentou a menor média, ou uma das menores médias, de resistência à flexão estática, entre as espécies pesquisadas.

5.6.2 Pré-tratamento "três ciclos em água"

Através da Tabela 25 é possível observar o efeito do adesivo para cada espécie, após pré-tratamento de três ciclos em água, pela comparação das letras maiúsculas em uma mesma coluna, considerando cada espécie separadamente.

TABELA 25. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ESPÉCIES E ADESIVOS APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE TRÊS CICLOS EM ÁGUA

ESPÉCIE	ADESIVO	MOR (MPa)
Amendoim	EPI	58,84 ^A
	PU	48,85 ^B
	PVAc	48,61 ^B
Guajuvira	EPI	62,74 ^A
	PU	45,98 ^B
	PVAc	33,70 ^C
Ipê	EPI	54,03 ^A
	PU	49,41 ^A
	PVAc	49,86 ^A
Jatobá	EPI	70,48 ^{AB}
	PU	60,65 ^B
	PVAc	77,33 ^A
Muiracatiara	EPI	69,13 ^A
	PU	43,59 ^B
	PVAc	33,95 ^C
Tauari	EPI	50,28 ^A
	PU	52,03 ^A
	PVAc	47,57 ^A

Médias ao longo das colunas, para cada espécie, seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Através da Tabela 25 nota-se que, quando submetidas ao pré-tratamento de três ciclos em água, os adesivos EPI e PU não se diferenciam quando utilizados para a colagem das espécies ipê, jatobá e tauari. Entretanto, o EPI apresenta resistência à flexão estática superior ao PU quando utilizados para a colagem das espécies amendoim e guajuvira e muiracatiara.

O adesivo PVAc não se diferencia do adesivo PU nas colagens das espécies amendoim, ipê e tauari, mas apresenta resistência à flexão estática inferior ao PU nas colagens das espécies guajuvira e muiracatiara. E, para estas duas espécies, as emendas de topo formadas com o adesivo EPI apresentaram resistência à flexão estática superior às formadas com o adesivo PU.

Para a maioria das espécies, o adesivo EPI se destacou por proporcionar maior resistência à flexão estática. Contudo, quando não foi superior, apresentou resistência semelhante ao adesivo PU e/ou PVAc.

Através da Tabela 26 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de três ciclos em água, coladas com o adesivo EPI.

TABELA 26. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO EPI APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE TRÊS CICLOS EM ÁGUA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
EPI	Jatobá	70,48 ^A
	Muiracatiara	69,13 ^A
	Guajuvira	62,74 ^{AB}
	Amendoim	58,84 ^{ABC}
	Ipê	54,03 ^{BC}
	Tuari	50,28 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

De acordo com a Tabela 26, quando as emendas de topo, coladas com o adesivo EPI, foram submetidas ao pré-tratamento de três ciclos em água, as espécies jatobá, muiracatiara, guajuvira e amendoim proporcionaram as maiores resistências à flexão estática e, a espécie tauari, a menor resistência. As espécies

amendoim e ipê não se diferenciaram da espécie tauari, nestas condições de colagem.

Através da Tabela 27 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de três ciclos em água, coladas com o adesivo PU.

TABELA 27 RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PU APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE TRÊS CICLOS EM ÁGUA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PU	Jatobá	60,65 ^A
	Tuari	52,03 ^{AB}
	Ipê	49,41 ^B
	Amendoim	48,85 ^B
	Guajuvira	45,98 ^B
	Muiracatiara	43,59 ^B

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Na Tabela 27 nota-se que as emendas de topo formadas com os resíduos das espécies jatobá e tauari e adesivo PU, submetidas ao pré-tratamento de três ciclos em água, não se diferenciam estatisticamente entre si e apresentaram as maiores resistências à flexão estática. Entretanto, a espécie jatobá apresentou resistência à flexão estática estatisticamente superior às espécies ipê, amendoim, guajuvira e muiracatiara.

Através da Tabela 28 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de três ciclos em água, coladas com o adesivo PVAc.

TABELA 28. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PVAc APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE TRÊS CICLOS EM ÁGUA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PVAc	Jatobá	77,33 ^A
	Ipê	49,86 ^B
	Amendoim	48,61 ^B
	Tauari	47,57 ^B
	Muiracatiara	33,95 ^C
	Guajuvira	33,70 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Observa-se, na Tabela 28 que, quando coladas com o adesivo PVAc e submetidas ao pré-tratamento de três ciclos em água, as emendas de topo da espécie jatobá apresentaram as maiores resistências à flexão estática. E as emendas de topo das espécies muiracatiara e guajuvira, as menores resistências. As espécies ipê, amendoim e tauari, que não se diferenciaram entre si, apresentaram resistência intermediária.

Observa-se que, independentemente do tipo de adesivo, após o pré-tratamento de três ciclos em água, a espécie jatobá se destacou por apresentar as maiores médias de resistência à flexão estática. As espécies muiracatiara e guajuvira apresentaram as menores médias de resistência quando coladas com os adesivos PU e PVAc, entretanto, quando utilizado o adesivo EPI, elas não diferiram da espécie jatobá.

5.6.3 Pré-tratamento de fervura

Através da Tabela 29 é possível analisar o efeito do adesivo para cada espécie, após pré-tratamento de fervura, pela comparação das letras maiúsculas em uma mesma coluna, considerando cada espécie separadamente.

TABELA 29. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA EM FUNÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE ESPÉCIES E ADESIVOS APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE FERVURA

ESPÉCIE	ADESIVO	MOR (MPa)
Amendoim	EPI	49,56 ^A
	PU	43,81 ^B
	PVAc	41,16 ^B
Guajuvira	EPI	40,64 ^A
	PU	44,15 ^A
	PVAc	31,08 ^B
Ipê	EPI	33,47 ^B
	PU	41,93 ^A
	PVAc	41,10 ^A
Jatobá	EPI	35,51 ^B
	PU	42,01 ^A
	PVAc	45,34 ^A
Muiracatiara	EPI	51,02 ^A
	PU	38,21 ^B
	PVAc	25,77 ^C
Tauari	EPI	47,40 ^A
	PU	48,79 ^A
	PVAc	35,38 ^B

Médias ao longo das colunas, para cada espécie, seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Observa-se que, para a espécie amendoim, as emendas formadas com o adesivo EPI, submetidas ao pré-tratamento de fervura, foram as que resultaram em maior resistência à flexão estática. Entretanto, as emendas formadas com o adesivo PU não se diferenciaram, estatisticamente, das emendas formadas com o adesivo PVAc.

Para as espécies guajuvira e tauari, quando submetida ao pré-tratamento de fervura, as colagens com os adesivos EPI e PU foram as que resultaram em maior resistência à flexão estática, diferenciando-se estatisticamente do adesivo PVAc

Para as espécies ipê e jatobá, as colagens com os adesivos PU e PVAc, submetidas ao pré-tratamento de fervura, foram estatisticamente superiores às colagens com o adesivo EPI.

Para a espécie muiracatiara, o adesivo EPI proporcionou maior resistência à flexão que o adesivo PU, e este, maior resistência que o adesivo PVAc.

De acordo com a Tabela 29, exceto para as espécies ipê e jatobá, o adesivo EPI foi aquele (ou um daqueles) que proporcionou maior resistência à flexão estática.

Através da Tabela 30 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de fervura, coladas com o adesivo EPI.

TABELA 30. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO EPI APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE FERVURA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
EPI	Muiracatiara	51,02 ^A
	Amendoim	49,56 ^A
	Tuari	47,40 ^A
	Guajuvira	40,64 ^B
	Jatobá	35,51 ^{BC}
	Ipê	33,47 ^C

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

De acordo com a Tabela 30, quando as emendas de topo coladas com o adesivo EPI foram submetidas ao pré-tratamento de fervura, as espécies muiracatiara, amendoim e tauari foram as que proporcionaram as maiores resistências à flexão estática e, a espécie ipê, a menor resistência.

Através da Tabela 31 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de fervura, coladas com o adesivo PU.

TABELA 31. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PU APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE FERVURA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PU	Tuari	48,79 ^A
	Guajuvira	44,15 ^{AB}
	Amendoim	43,81 ^{AB}
	Jatobá	42,01 ^B
	Ipê	41,93 ^B
	Muiracatiara	38,21 ^B

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Observa-se que as emendas de topo formadas com os resíduos de madeira das espécies tauari, guajuvira e amendoim, coladas com o adesivo PU e submetidas ao pré-tratamento de fervura, não se diferenciam estatisticamente e apresentam as maiores médias de resistência à flexão estática. Entretanto, as emendas de topo da espécie tauari se diferenciam das emendas de topo das espécies jatobá, ipê e muiracatiara.

Através da Tabela 32 é possível analisar a resistência à flexão estática das emendas de topo “*finger joint*” das seis espécies estudadas, após pré-tratamento de fervura, coladas com o adesivo PVAc.

TABELA 32. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DAS EMENDAS DE TOPO DAS SEIS ESPÉCIES ESTUDADAS COM ADESIVO PVAC APÓS PRÉ-TRATAMENTO DE FERVURA

ADESIVO	ESPÉCIE	MOR (MPa)
PVAc	Jatobá	45,34 ^A
	Amendoim	41,16 ^{AB}
	Ipê	41,10 ^{AB}
	Tuari	35,38 ^{BC}
	Guajuvira	31,08 ^{CD}
	Muiracatiara	25,77 ^D

Médias ao longo das colunas seguidas de mesmas letras maiúsculas sobrescritas não diferem significativamente entre si pelo teste *Tukey*, ao nível de significância de 5%.

Nota-se, na Tabela 32, que as emendas de topo das espécies jatobá, ipê e amendoim, coladas com PVAc e submetidas ao pré-tratamento de fervura, apresentaram as maiores resistências à flexão estática. As emendas de ipê e amendoim não se diferenciaram da espécie tauari. E esta última foi estatisticamente igual à espécie guajuvira. As espécies guajuvira e muiracatiara apresentaram as menores médias de resistência à flexão estática.

Nas colagens submetidas ao pré-tratamento de fervura, considerando os três adesivos utilizados, observa-se que a espécie amendoim está entre as de maior resistência à flexão estática.

Considerando os três pré-tratamentos realizados para as emendas de topo “*finger joint*” observa-se que, dependendo do tipo de adesivo e do pré-tratamento, as espécies se alternam com relação ao resultado de resistência à flexão estática proporcionada, não seguindo nenhum padrão. Entretanto, observa-se que dentro de nove combinações entre adesivo e pré-tratamento, a colagem das emendas de topo “*finger joint*”, da espécie tauari, apresenta-se seis vezes como uma das mais resistentes à flexão. A espécie tauari, embora apresente apenas 6,2% de área da seção transversal ocupada por poros, estes não estão totalmente obstruídos, como na madeira de ipê. O baixo teor de extrativos (3,40% - o menor entre as espécies estudadas) em conjunto com a baixa massa específica básica ($0,667\text{g/cm}^3$) e as baixas contrações tangencial (5,72%) e radial (4,46%) podem ter contribuído para sua elevada resistência à flexão estática, comparada às outras espécies.

Das nove combinações de adesivo e pré-tratamento, a espécie muiracatiara apresenta-se sete vezes como uma das menos resistentes à flexão estática. Entretanto, esta espécie apresenta-se como uma das mais resistentes quando colada com o adesivo EPI, após os pré-tratamentos de três ciclos em água e fervura.

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que a geometria das emendas de topo “*finger joint*” são de grande importância para a qualidade de colagem e possibilitam o uso de adesivos menos resistentes. Os resultados obtidos das colagens com o adesivo PVAc, independente do pré-tratamento, corroboram para esta afirmativa.

Os bons resultados proporcionados pelo adesivo PVAc, na colagem de emendas de topo “*finger joint*”, já são conhecidos pelas indústrias que produzem tais emendas para a formação de painéis EGP, visto que é o principal adesivo utilizado para tal fim atualmente.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- Embora as propriedades físicas e químicas da madeira, discutidas nesta pesquisa, influenciem, isoladamente ou em conjunto, a qualidade de colagem da madeira, não foi possível generalizar, ou enfatizar, a influência individual de uma determinada propriedade na qualidade das juntas coladas, considerando as espécies dos resíduos de madeira, os adesivos e as gramaturas estudadas;
- É possível produzir painéis EGP com os resíduos das seis espécies estudadas que atendam às normas ASTM 5572 (2006) – referente ao ensaio de flexão estática de emendas de topo tipo “*finger joint*”, para uso não estrutural seco e EN 13353 (2008) e 13354 (2008) – referentes ao ensaio de cisalhamento da linha de cola lateral de painéis de madeira maciça;
- As colagens de topo “*finger joint*” resultaram em emendas com elevada resistência à flexão estática para todas as espécies, adesivos e pré-tratamentos;
- É possível utilizar os adesivos EPI e PU para colagem lateral das seis espécies, com exceção do ipê, que não apresentou boa resistência ao cisalhamento quando colado com EPI;
- O adesivo PVAc só atendeu à norma EN 13354 (2008) quando utilizado para colagem lateral com a madeira da espécie amendoim;
- A espécie amendoim se destacou entre as demais por resultar em maior resistência ao cisalhamento, quando colada com os três adesivos, independente da gramatura utilizada;
- A gramatura de 150 g/m² pode ser utilizada nas colagens laterais da espécie amendoim, quando utilizados os adesivos EPI e PU e das espécies muiracatiara e jatobá, quando utilizado o adesivo EPI. Para estas configurações, esta redução da gramatura constitui um benefício econômico, sem prejuízo da qualidade da colagem;
- Considerando a resistência ao cisalhamento e as condições de uso do painel colado lateralmente, todas as espécies, com exceção da muiracatiara, estão

aptas para uso não estrutural úmido. Para tal utilização, a espécie amendoim deve ser colada com o adesivo EPI ou PU, com gramatura de 150 ou 200 g/m², a espécie guajuvira com EPI ou PU, com gramatura de 200 g/m², e as espécies ipê, jatobá e tauari com PU, com gramatura de 200 g/m².

Diante das conclusões obtidas, recomenda-se:

- Que a viabilidade econômica de produção de painéis EGP, com estes resíduos de madeira, seja pesquisada;
- Que sejam produzidos painéis mesclados, devido ao fato de que há variação de disponibilidade dos resíduos de madeira nas indústrias de pisos de madeira sólida.

REFERÊNCIAS

ABIMCI – Associação da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Estudo Setorial 2007, p 27. 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. São Paulo, 1997.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7203**: madeira serrada e beneficiada. São Paulo, 1982.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011. Brasília: 2012. 150p. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>. Acesso em: 23/02/2013.

A RETRATIBILIDADE da madeira. **Remade**: Revista da madeira. n. 59, 2001. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=26&subject=Retratibilidade&title=A%20Retratibilidade%20da%20Madeira>. Acesso em: 26/10/2012.

ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. Floresta e Ambiente. v. 7, n.1, p.158 - 166, jan./dez. 2000. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v7n%C3%BAnico/v7nunicoa17.pdf>>. Acesso em: 20/04/2013.

ALMEIDA, V. C. **Resíduos de madeira sólida da empresa Triângulo Pisos LTDA**. 2011. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

ALMEIDA, V. C. **Máquina “finger joint” da empresa Naderer Madeiras**. 2012. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

ALMEIDA, V. C. **Geometria e dimensões das emendas “finger joint”**. 2012. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

ALMEIDA, V. C. **Prensas utilizadas para as colagens. A - Carrossel. B - Alta frequência**. 2012. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

ALMEIDA, V. C. **Painel formado para avaliação dos ensaios preliminares.** 2012. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

ALMEIDA, V. C. **Extrativos que migraram para a superfície da madeira de ipê (*Tabebuia spp.*).** 2012. 1 fotografia, color., 10 x 15 cm.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. **D 5572:** Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. **D 1084-97:** Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives. 1998

ANDRADE. A. U. Tecnologias modernas para a fabricação de compensados. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL, 1, 1992. Manaus. **Anais...** Manaus: 1992. p. 117-123.

ANPM – Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira. **Análise Tecnológica e Econômica do Setor Brasileiro de Pisos de Madeira.** [Coordenado por] Ariel de Andrade. Piracicaba:ANPM, 2011. 69p.

ANPM – Associação Nacional dos Produtores de Pisos de Madeira. Madeiras. Disponível em: < <http://www.anpm.org.br/?S=48&L=1>>. Acesso em 05/01/2013.

ARAUJO, H. J .B. Potencial energético dos resíduos gerados pelas indústrias de serraria do Acre. In: 1º FÓRUM INTERNACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. **Anais...** Porto Alegre. 2007. Disponível em: <<http://www.wp.institutoventuri.org.br/wp-content/uploads/downloads/2012/03/t010.pdf>>. Acesso em: 10/03/2013.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola.** 4.ed. Jaboticabal: Funep. 2006. 237p.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal.** Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2010. 131p.

BRASIL. M. A. M.; VEIGA. R. A. A.; MELLO, H. A. **Densidade básica de madeira de *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN, aos 3 anos de idade.** IPEF n.19. p.63-76. 1979. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr19/cap05.pdf>>. Acesso em: 05/03/2013.

BRUINS, P.F. **Polyurethane technology**. New York: Interscience Publishers. 289 p. 1969.

BURGER, L.M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo. Nobel. 1991.154p.

CANGEMI, J.M.; SANTOS, A.M.; CLARO NETO, S. Poliuretano: de travesseiros a preservativos, um polímero versátil. **Química e Sociedade**. São Paulo. v. 31, n.3, 2009.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies Florestais Brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. COLOMBO: EMBRAPA/CNPF, 1994. 640 p.

CIPRIANE, F. A.; FIGUEIREDO, M. R.; SOARES, G. L. G.; KAPLAN, M. A. C. Implicações químicas na sistemática e filogenia de bignoniaceae. **Química Nova**. Vol. 35, No. 11, 2125-2131, 2012.

CLARO NETO, S. **Caracterizações físicoquímica de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos**. 1997. 127 f. Tese (Doutorado)- Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

CONNER, A. H. **Wood: Adhesives. Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. Elsevier Science LTDA, USA. 17p. 2001.

DAVIS, G.D.; SHAFFER, D. K. Durability of Adhesive Joints. In: PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 7.

DEL MENEZZI, C. H. S.; NAHUZ, M. A. R.; SOUZA, M. R. Utilização de um método combinado de desdobro e secagem para obtenção de madeira serrada de eucalipto destinada à produção de painéis colados lateralmente. **Revista Árvore**, Viçosa, MG v.25, n.1, p.113-123, 2001.

DEVRIES, K. L.; BORGMEIER, P. R. Testing of Adhesives. In: PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 5.

DUTRA, R.I.J.P.; NASCIMENTO, S.M.; NUMAZAWA, S. Resíduos de Indústria Madeireira: Caracterização, consequências sobre o meio ambiente e opções de uso. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Ed. 5, 2005. Disponível

em: < <http://www.revista.inf.br/florestal05/pages/artigos/artigo07.pdf>>. Acesso em: 12/06/2012.

ECKER, V.; CUNHA A.B.; MODESTI, L.G. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de painéis sarrafeados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2003. p. 313-314.

EUROPEAN STANDARD. **EN 204**: Adhesives – Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural Applications. Bruxelas, 2000.

EUROPEAN STANDARD. **EN 205**: Adhesives – Wood adhesives for non-structural applications – Determination of tensile shear strength of lap joints. 13p. Bruxelas, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 326-1**: Wood-based Panels – Sampling, cutting and inspection – Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results. 7p. Bruxelas, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 827**: Adhesives - Determination of conventional solids content and constant mass solids content. Bruxelas, 2006.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13353**: Solid wood panels (SWP) – Requirements. Bruxelas, 2008. 13p.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13354**: Solid wood panels (SWP) – bonding quality. Bruxelas, 2008. 10p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FIORELLI, J. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-12052003-144536/>>. Acesso em: 01/02/2012.

FOELKEL, C. Edge Glued Panel" (Painel de Madeira Colado Lateralmente). PinusLetter, n. 8, 2008. Disponível em:<http://www.celso-foelkel.com.br/pinus_8.html>. Acesso em: 02/03/2013.

FRANKLIN INTERNATIONAL - Adesivos para a Indústria Moveleira e Madeireira. Princípios básicos para colagem de madeira. Columbus, Ohio – USA. Rev. 10/04/2001. Disponível em: <<http://www.grossl.com.br/arquivos/manuais/Principios%20basicos%20para%20colagem%20de%20madeira.pdf>>. Acesso em: 26/04/2013.

FRAZIER, C. E. Isocyanate Wood Binders. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. 2. Ed. New York: Marcel Dekker, 2003. cap. 33.

FRIHART, C. R. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, R.M. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Cap. 9, p. 260. CRC Press: Madison, 2005.

FUMAGALLI, L. A. W. **Processo de Internacionalização no Setor de Produtos de Maior Valor Agregado da Indústria Madeireira**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

GAO, Z.H.; GU, F.Y.; WANG, X-M.; LI, Z.G.; BAI, X.D. FTIR and XPS study of the reaction of phenyl isocyanate and cellulose with different moisture contents. **Pigment & Resin Technology**, v.34, p.282-289, 2005.

GARCIA, F. M. **Rendimento Operacional de uma serraria com a espécie Cambará (*Qualea albiflora* Warm.) na Região Amazônica**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Botucatu, São Paulo, 2003. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0879.pdf>>. Acesso em: 08/02/2013.

GARCIA, A.; LOPES, M. Otimização da madeira através da colagem. **Revista da Madeira**, n.79, ano 13, 2004, p.64-65.

GARCIA, A.; RECH, M. Adesivos para a madeira e móveis. **Revista da madeira**. Ed 128. 2011. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1547&subject=Adesivos&title=Adesivos%20para%20a%20madeira%20e%20m%F3veis>. Acesso em: 01/11/2011.

GOULDING, T. M. Polyvinyl Acetate Wood Adhesives. In: PIZZI. **Wood adhesives: Chemistry and technology**. New York: Marcel Dekker, 1983. cap. 7.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In: **Wood handbook—Wood as an engineering material**. 508 p. Madison, WI. Chapter 4. 2010.

HENKEL LTDA. **DORUS KL 245A (Ex-HYPER-LOK 42-245A). Adesivo aquoso termoestável entrecruzado**. Jundiaí, SP. 2010a. 2p. Boletim técnico.

HENKEL LTDA. **DORUS SL 3184 (Ex-SUPER-LOK 3184). Adesivo aquoso à base de polímeros sintéticos**. Jundiaí, SP. 2010b. 2p. Boletim técnico.

HENKEL LTDA. **DORUS R 7357 (ex-Hardener 072-7357)**. Jundiaí, SP. 2010c. 2p. Boletim técnico.

HENKEL LTDA. PURBOND HB S109_E. **One-component polyurethane adhesive for the production of engineered wood products** Holzleimbau Technik. 2007. 4p. Boletim técnico.

HIGA. A.R.; KAGEYAMA, P.; FERREIRA. M. Variação da densidade básica da madeira de *P. elliotii* var. *elliottii* e *P. taeda*. IPEF n.7. p.79-91. 1973. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr07/cap03.pdf>>. Acesso em: 08/02/2013.

HILLIG, E. *et al.* Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. In: XXVI ENEGEP, 2006, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABEPRO, 2006. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_8192.pdf>. Acesso em: 20/02/2013.

IAWA – International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Banco de dados de madeiras brasileiras. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/>>. Acesso em: 07 de março de 2013.

IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Identificação de espécies florestais. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/detalhes.asp?codigo=35>>. Acesso em: 12/01/2013.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

KOLLMANN, F.F.P. & COTÉ Jr., W.A. - Principles of wood science and technology: Solid wood. New York, Springer Verlag, 1968. v.1, 592p.

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical Properties of Wood. In: **Wood handbook—Wood as an engineering material**. 508 p. Madison, WI. Chapter 5. 2010.

LIMA *et al.* Avaliação dos Defeitos Causados pela Secagem por Desumidificação na Madeira de *Eucalyptus grandis*, In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais...** 2008.

LIMA. J.T.; SILVA. J.R.; VIEIRA. R. S. Aproveitamento de resíduos gerados no processamento da madeira de eucalipto. In: In Oliveira, J. T. da S.; Fiedler, N. C.; Nogueira, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro. ES. 2008. p 261.

LOBÃO, M. S.; CASTRO, V. R. de; RANGEL, A.; SARTO, C.; TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA JÚNIOR, F. G. da; CAMARGO NETO, L. de; 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, dez. 2011.

LOPES, M. de C. Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada a classificação de painéis colados lateralmente de madeira de *Pinus taeda* L. Tese (Doutorado em Engenharia Floresta) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum. v.1, 4. ed., 2002. 381p.

LUZ, J. R. M. **Controle de qualidade do processo produtivo de piso engenheirado da empresa Novopiso S.A.** Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/tccpublicados/tccjoaoricardomdaluz.pdf>>. Acesso em: 19/02/2013.

MACÊDO, A.N.; CALIL JUNIOR, C. Estudo de juntas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de método de ensaio – NBR 7190/1997. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 7, p. 1-23, 1999. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee7.pdf>>. Acesso em: 10/02/2013.

MACÊDO, A.N.; CALIL JUNIOR, C. Fadiga em juntas dentadas em madeira laminada colada. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 9, n. 37, p. 95-126, 2007.

MANTEGA. B.M; NOLASCO. A.M.; ULIANA. L.R. **Pontos críticos de geração de resíduos em indústrias de pisos de madeira**. SIICUSP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.pimads.org/documento_atividades/Poster%2001%20-%20SIICUSP..pdf>. Acesso em: 14/11/2012.

MARCHESAN. R. **Rendimento e qualidade de madeira serrada de três espécies tropicais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2012/d592_0826-M.pdf>. Acesso em: 31/01/2013.

MARRA, A. A. Thecnology of Wood bonding: principles in practice. Van Nostrand Reinhold. New York. 454p. 1992.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de Eucalyptus benthamii Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. 2011. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília- UNB. Brasília, 2011. p. 25. Disponível em: <http://repositorio.bce.unb.br/bitstream/10482/8522/3/2011_SabrinaAndradeMartins.pdf>. Acesso em: 20/04/2013.

MAYER, R.D.; Utilização de Painéis Colados Lateralmente de Eucalipto na Confecção de Móvel Valorizado pelo Design. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

MELO L.E.L.; SILVA C.J.; LOPES K.V.; BRITO P.G.M.; SANTOS I.S. Resíduos de serraria no Estado do Pará: caracterização, quantificação e utilização adequada. **Floresta e Ambiente**. v. 19(1), p.113-116, 2012. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/floram.2012.012>>. Acesso em: 25/02/2013.

MENDES. L. M.; ALBUQUERQUE. C. E. C.; IWAKIRI, S. **Compensados sarrafeados: qualidade da madeira, aspectos de produção e aproveitamento de resíduos**. Lavras: Editora UFLA. 2001. Disponível em: <<http://editora.ufla.br/upload/boletim/tecnico/boletim-tecnico-39.pdf>>. Acesso em: 28/01/2013.

MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. In: KITANI, O.; HALL, C.W. (Eds.) **Biomass handbook**. New York: Gordon and Breach Science Publishers. 1989. p. 160-170.

MOREIRA, W.S. **Extensores Alternativos para Produção de Compensados com Resina Uréia-Formaldeído**. Curitiba: UFPR, 1985. 81p. (Dissertação Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, 1985.

MOTTA, J. P. **Propriedades tecnológicas da Madeira de *Tectona grandis* L.f. proveniente do Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Jerônimo Monteiro, ES, 2011.

MOYA, R., BERROCAL, A., SERRANO, J.R., TOMAZELLO FILHO, M., 2009. Radial variation of anatomical features, wood density and decay resistance in teak (*Tectona grandis*) from two qualities of growing sites and two climatic regions of Costa Rica. *Invest Agrar: Sist Recur For.* **18**(2): 119-131.

NAHUZ, M. A. R. **Madeiras brasileiras e exóticas**. Caxias do Sul: Lettech Editora e Gráfica, 2007.

NOCK, H. P.; RICHTER, H. G.; BURGER, L. M. Tecnologia da madeira. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Rurais, Universidade Federal do Paraná, 1975. 216 p.

OLANDOSKI, D.P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústrias de chapas compensadas**. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná- UFPR, Curitiba, 2001.

OLIVEIRA, M. P. de; ANDRADE, A. R. de; CAMPOS, M.; CALIL Jr, C.; CALIL NETO, C. Influência do tratamento preservativo na colagem em juntas de finger-joint. Remade: Revista da madeira. Ed 116. 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1318&subject=A desivos&title=Influ%C3%Aancia%20do%20tratamento%20preservativo%20na%20colagem%20em%20juntas%20de%20finger-joint>. Acesso em: 05/12/2012.

OLIVEIRA, J. T. S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

PASTORE *et al.* **Efeito do intemperismo artificial em quatro madeiras tropicais monitorado por espectroscopia de infravermelho (DRIFT)**. Quím. Nova. São Paulo. v. 31, n. 8, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000800030&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 03/04/2013.

PANSHIN. A. J.; ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4.ed. New York: Mc Graw Hill. 1980. 722p.

PAULA. J.E.; ALVES. J.L.A. **922 Madeiras nativas do Brasil: Anatomia-dendrologia-dendrometria-produção-uso**. Porto Alegre: Cinco Continentes Ed. 2010.

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de “Cryptomeria japonica” para laminação e produção de painéis compensado**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná- UFPR, Curitiba, 2011.

PINTO. P. H. M. A.; NOLASCO. A. M.; ULIANA. L. R. **Estratégias para redução da geração de resíduos em indústrias de piso de madeira**. 20º SIICUSP - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.pimads.org/documento_atividades/Poster%2003%20-%20SIICUSP..pdf>. Acesso em: 18/12/2012.

PIMADS - Projeto PIMADS (Piso de Madeira Sustentável). Disponível em: <http://www.pimads.org/pt-br/>. Acesso em: 10/04/2013.

PIZZI. A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.

PLASTER *et al.* Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251-258, jul./set. 2008. Disponível em: <http://www.dcf.ufla.br/Cerne/administracao/publicacoes/m11v14n3o9.pdf>>. Acesso em: 10/01/2013.

POLZL. W. B.; SANTOS. A. J.; TIMOFEICZYK. R. Jr.; POLZL. P.K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira - segmento da madeira serrada no estado do Paraná. **Revista floresta**. v.33(2), p.127-134, 2003.

PRATA, J. G. Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus Tropicais para produção de painéis colados lateralmente (edge glued panels – EGP).

Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 2010.

QUAQUARELLI *et al.* Características físicas da madeira de *Pinus taeda* L. Trabalho apresentado no **XI Encontro Anual de Iniciação Científica**, Maringá, 2002. Disponível em: <http://www.ppg.uem.br/Docs/pes/eaic/XI_EAIC/trabalhos/arquivos/11-2216-0.pdf>. Acesso em: 06/12/2012.

REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. **Estudo das interações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade.** IPEF, n.48/49. p.133-141. jan./dez.1995. Disponível em: <<http://ipef.br/publicacoes/scientia/nr48-49/cap14.pdf>>. Acesso em: 2/04/2013.

RICHTER, H.G.; AND DALLWITZ, M.J. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. 2009. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/pt/www/borpaame.htm>>. Acesso em: 18/09/2012

RIVER, B. H. Fracture of adhesive-bonded Wood joints. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology.** New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 9.

RIVER, B.H.; OKKONEN, A. **Delamination of edge-glued wood panel: moisture effects.** U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1991. 11p.

ROSA, R. H. L. ***Handroanthus ochraceus* (Cham.) Mattos ssp. *ochraceus*, *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose, *Tabebuia insignis* (Miq.) Sandwith ssp. *insignis* e *Tabebuia roseo-alba* (Ridl.) Sandwith – *Bignoniaceae*. Caracterização morfológica de fruto, semente, desenvolvimento pós- seminal e plântula, como subsidio a taxonomia.** Dissertação (Mestrado em Botânica). Botânica Tropical, Universidade Federal Rural da Amazônia, 2008. p. 13-14. Disponível em: < http://www.posbot.ufra.edu.br/discentes/roberta_helena.pdf>. Acesso em: 06/05/2013.

SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology.** New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 37.

SILVA, T. da. Produtividade da produção de painéis colados lateralmente (EGP – edge glued panel) de *Pinus sp.* 117p. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 2009.

SILVA, D.A. da; TOMASELLI, I., IWAKIRI, S. Influência da umidade na resistência da linha de cola e estabilidade dimensional do compensado utilizando resina de alta reatividade. **Scientia Forestalis**. n. 54, p. 69-80, dez. 1998.

STAMM, A. J. **Wood and Cellulose Science**. New York: Ronald Press, 1964. p.317-320.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **T 204 cm-07**: solvent extractives of wood and pulp. In: Tappi test methods. Atlanta, 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **T 252 om-12**: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and Paperboard. In: Tappi test methods. Atlanta, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **T 257 cm-12**: sampling and preparing wood for analysis. In: Tappi test methods. Atlanta, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. **T 264 cm-97**: preparation of wood for chemical analysis. In: Tappi test methods. Atlanta, 2007.

TOMASELLI, I. Introdução de espécies pouco conhecidas na indústria de compensados da Amazônia. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DE COMPENSADOS DE MADEIRA TROPICAL. 1.. 1992. Manaus. **Anais...** Manaus: 1992. p 73-94.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; MELO, R. R. DE; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *eucalyptus grandis* w. Hill ex maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

VALE, A. T. do; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420, 2005.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook — Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Cap. 9. 463 p. Madison, U.S.A.1999.

VICK, C. B.; ROWELL, R. M. Adhesive Bonding of Acetylated Wood. Int. J. Adhesion and Adhesives. V.10, n.4, p. 263-272. Madison, U.S.A. 1990.

VILAR, W.D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. Rio de Janeiro. 340p. 1999.
WIEDENHOEFT, A. Structure and Function of Wood. In: **Wood handbook—Wood as an engineering material**. 508 p. Madison, WI. Chapter 3. 2010.

ZIMMERMAN, D. Adesivos para pisos engenheirados: da fabricação à instalação. **Remade**: Revista da Madeira. Ed. 94. 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=853&subject=Pisos&title=Adesivos%20para%20Pisos%20Engenheirados:%20aa%20fabrica%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A0%20instala%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 12/03/2012.