

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E DE
MATERIAIS**

RICHARD EDUARD MÖLLEKEN

**APLICAÇÃO DO ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DO ÓLEO DE
MAMONA NA OBTENÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA COLADOS
LATERALMENTE**

DISSERTAÇÃO

**CURITIBA
2017**

RICHARD EDUARD MÖLLEKEN

**APLICAÇÃO DO ADESIVO POLIURETANO DERIVADO DO ÓLEO DE
MAMONA NA OBTENÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA COLADOS
LATERALMENTE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia – Área de Concentração: Engenharia de Materiais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elaine Azevedo

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski

CURITIBA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M726a
2017

Mölleken, Richard Eduard

Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente / Richard Eduard Mölleken. -- Curitiba, PR : 2017.

77 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Curitiba, 2017.

Bibliografia: f. 70-77

1. Poliuretanas. 2. Óleo de mamona. 3. Madeira – Produtos. 4. Sustentabilidade e meio ambiente. 5. Impacto ambiental. 6. Responsabilidade ambiente. 7. Engenharia mecânica – Dissertações. I. Azevedo, Elaine Cristina, orient. II. Trianoski, Rosilani, co-orinet. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. IV. Título.

CDD: Ed. 23. – 620.1

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 307

A Dissertação de Mestrado intitulada: **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Richard Eduard Mölleken**, no dia 26 de outubro de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Materiais, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dr^a. Elaine Cristina de Azevedo - Presidente - UTFPR

Prof. Neri Volpato, PhD - UTFPR

Prof. Dr. Mario Tommasiello Filho – ESALQ/USP

Prof. Dr. Ugo Leandro Belini – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

Para a minha noiva, Ana Paula de Lara.
Para a minha mãe. Kelli Cristina Mölleken
e para os meus Mestres, da vida e da educação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha orientadora e amiga, Prof^a. Dr^a. Elaine Azevedo, pelo apoio, paciência e inspiração em todo processo de realização deste trabalho.

À coorientadora, Prof^a. Dr^a. Rosilani Trianoski, pela inspiração, conselhos e paciência em todo processo de realização deste trabalho.

À Empresa Berneck S.A., pela doação das peças de madeira de *Tectona grandis*.

À Empresa Braspine, pela doação das peças de madeira de *Pinus taeda*, em especial à Engenheira Industrial Madeireira Francielli Rodrigues Ribeiro Batista, pelo apoio durante os pedidos da matéria-prima.

Ao Grupo de Química Analítica e de Tecnologia de Polímeros do Instituto de Química de São Carlos, em especial ao Dr. Salvador Claro Neto, pela disponibilização do poliuretano.

A todos os membros do Laboratório de Polímeros e Compósitos da UTFPR, em especial à Engenheira Florestal Caroline Rodrigues Pereira, pela amizade, companhia, apoio e conhecimento durante as coletas dos dados.

Ao Laboratório de Painéis da UFPR e ao Laboratório de Química da Madeira da UFPR, pela disponibilização dos equipamentos e espaço físico necessários para a realização dos experimentos.

A todos os professores e alunos do PPGEM.

Ao técnico do laboratório do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais da UTFPR, Alexandre José Gonçalves, pelas micrografias em MEV.

À CAPES, ao CNPq e à Fundação Araucária, pelo apoio financeiro aos laboratórios envolvidos.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

MÖLLEKEN, Richard E. **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente**. 2017. 77f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

RESUMO

Devido a preocupações com o meio ambiente e aos avanços tecnológicos na área química e florestal, alternativas tecnológicas são buscadas para o desenvolvimento de novos produtos. Os painéis de madeira colados lateralmente, EGP, possibilitam a otimização do uso de recursos florestais e são compostos por sarrafos de madeira unidos através de ligação adesiva nas laterais e de topos, sendo avaliados segundo a norma EN-13353. Esses painéis podem ser fabricados com adesivo poliacetato de vinila, PVAc e emulsão polimérica de isocianato, EPI, que são provenientes do petróleo. O adesivo de poliuretano derivado do óleo da mamona é uma alternativa para substituir estes adesivos, pois é um material que não possui solvente, é biodegradável e procedente de matéria-prima renovável. O objetivo deste trabalho foi avaliar o adesivo poliuretano que procede do óleo de mamona para a produção de painéis colados lateralmente. Foram utilizadas as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis* para a colagem com o adesivo de poliuretano e comparados com os adesivos PVAc e EPI, com prensagens em diferentes tempos, proporções de polioli e pré-polímero e diferentes gramaturas submetidas a condicionamentos de acordo com a norma EN-13353 para a avaliação da qualidade de colagem de painéis de madeira sólida. Todos os corpos de prova foram avaliados pelo ensaio de cisalhamento na linha de cola. Observou-se que o tempo mais indicado para a produção de EGP com o adesivo PU para a espécie *Pinus taeda* foi de 4 horas, com proporção de 1:0,7 e gramatura de 180 g/m² e para espécie *Tectona grandis* foi de 4 horas, com proporção de 1:0,7 e gramatura de 120 g/m², sendo que todos os valores atenderam à norma para painéis colados lateralmente EN-13353 e foram superiores aos valores obtidos com adesivos PVAc e EPI.

Palavras-chave: EGP. Tempo de Prensagem, Poliuretano, Gramatura.

MÖLLEKEN, Richard E. **Aplicação do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona na obtenção de painéis de madeira colados lateralmente.** 2017. 77f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

ABSTRACT

Due to concerns about the environment and technological advances in the chemical and forestry area, technological alternatives are sought for the development of new products. The Edge Glued Panels, EGP, enable the optimization of the use of forest resources and are composed of wood joints joined by adhesive bonding on the sides and tops and evaluated according to EN-13353. These panels can be manufactured with vinyl polyacetate adhesive, PVAc and emulsion polymer isocyanate, epoxy, which are derived from petroleum. The polyurethane adhesive derived from castor oil is an alternative to replace these adhesives, since it is a material that has no solvent, is biodegradable and derived from renewable raw material. The objective of this work was to evaluate the polyurethane adhesive derived from castor oil for the production of Edge Glued Panels. The *Pinus taeda* and *Tectona grandis* species were used for bonding with the polyurethane adhesive and compared with the PVAc and EPI adhesives, with pressings at different times, proportions of polyol and prepolymer and different weights subjected to conditioning according to standard EN-13353 for the evaluation of the bonding quality of solid wood panels. All the specimens were evaluated by the shear test on the glue line. It was observed that the time most suitable to produce EGP with the PU adhesive for *Pinus taeda* was 4 hours, with a ratio of 1: 0.7 and weight of 180 g / m² and for *Tectona grandis* species it was 4 hours, with a ratio of 1: 0.7 and 120 g / m², where all values met the standard for laterally bonded panels EN-13353, and were higher than the values obtained with PVAc and EPI adhesives.

Keywords: EGP; Press time; Polyuretha; Weight.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reação de formação do grupo uretano.....	18
Figura 2 - Reação de polimerização do poliuretano	18
Figura 3 - Molécula do triglicéride do ácido ricinoleico	19
Figura 4 - Polímero do Poli (acetato de vinila).....	21
Figura 5 - Aspectos macroscópicos da madeira em uma secção transversal do tronco de uma árvore	22
Figura 6 - (a) distribuição dos planos anatômicos de corte e (b) planos anatômicos de uma conífera	23
Figura 7 - Polímero da celulose.....	24
Figura 8 - Polímero da hemicelulose.....	25
Figura 9 - Representação esquemática da Lignina de uma conífera	25
Figura 10 - Fotos da espécie <i>Pinus taeda</i> : Macroscópica dos planos (a) transversal, (b) tangencial e (c) radial e microscopia eletrônica de varredura dos planos (d) transversal, (e) tangencial e (f) radial	26
Figura 11 - Fotos macroscópicas da espécie <i>Tectona grandis</i> : (A) Plano transversal, (B) Plano longitudinal	28
Figura 12 - Madeira de teca de quatro anos, para a seção: (A) transversal, (B) tangencial e (C) radial. Barra = 200 µm	28
Figura 13 - Fluxograma das atividades	32
Figura 14 – Aplicação do adesivo PU de mamona de acordo com a gramatura definida com a ajuda da balança de precisão	35
Figura 15 – Corpo de prova: (a) Dimensões de acordo com a norma EN13354:2008 (b) foto real	36
Figura 16 – Ensaio de cisalhamento na linha de cola: (a) Máquina universal de ensaios EMIC e (b) aparato para o encaixe do corpo de prova.....	38
Figura 17 – Classificação da porcentagem de falha na madeira: (a) 0% (b) 45% (c) 95%	38
Figura 18 - Microscópio Eletrônico de Varredura da UTFPR	39
Figura 19 - Micrografias por MEV da madeira de <i>Pinus taeda</i> para seção: tangencial (a) e (b) e radial (c) e (d), e da madeira de <i>Tectona grandis</i> para seção: tangencial (e) e (f) e radial (g) e (h)	44

Figura 20 - Micrografias por MEV da linha de cola dos painéis de Pinus taeda, condição seco, colado com PU na proporção de 1:1 180 g/m ² (a) 2 horas de prensagem (b) 4 horas de prensagem	46
Figura 21 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição seco, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:1 (a) 4 horas, (b) 8 horas, (c) 24 horas de prensagem	47
Figura 22 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição úmido, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m ² (a) 2 horas de prensagem (b) 4 horas de prensagem	49
Figura 23 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição úmido, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:1 (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem	50
Figura 24 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição fervura, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m ² (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem	51
Figura 25 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição ciclo, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m ² (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem	53
Figura 26 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição seco, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem	56
Figura 27 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição úmido, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem	57
Figura 28 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, condição fervura, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem	59
Figura 29 - Micrografias por MEV de painel de Pinus taeda, tratamento ciclo, colado com PU 180 g/m ² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem	60
Figura 30 - Micrografias por MEV de painel de madeira colado lateralmente, condição seco, colado com PU 120 g/m ² com proporção de: 1:0,7, para a espécie: (a) Pinus taeda e (b) <i>Tectona grandis</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos adesivos de painéis de madeira conforme o ambiente de uso	17
Tabela 2 - Análises químicas e suas respectivas normas	34
Tabela 3 - Delineamento experimental.....	36
Tabela 4 - Caracterização química das espécies	40
Tabela 5 - Valores médios da resistência ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira para os pré-tratamentos seco, úmido, ciclo e fervura, com variação no tempo de prensagem	46
Tabela 6 - Resultados médios das resistências ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira entre proporções de pré-polímero e poliol	54
Tabela 7 - Resultados médios das resistências ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira com variação na gramatura nas espécies <i>Pinus taeda</i> e <i>Tectona grandis</i>	62
Tabela 8 - Melhores resultados para a resistência ao cisalhamento na linha de cola para as espécies <i>Pinus taeda</i> e <i>Tectona grandis</i> com o adesivo de PU e variação no tratamento e na gramatura	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos da pesquisa	12
1.2	Justificativa	13
1.3	Estrutura do trabalho	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Adesivos	15
2.1.1	Adesivos poliuretanos	18
2.1.2	Poli (acetato de vinila)	20
2.1.3	EPI.....	21
2.2	Madeira	22
2.2.1	<i>Pinus taeda</i>	26
2.3	<i>Tectona grandis</i>	27
2.4	Painéis de madeira colados lateralmente	29
2.4.1	Técnicas de caracterização das Propriedades mecânicas da junta adesiva ...	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Fluxograma de atividades	32
3.2	Adesivos	33
3.3	Madeira	33
3.4	Propriedades físicas e químicas das espécies florestais	33
3.4.1	Teor de umidade	33
3.4.2	Densidade básica	34
3.4.3	Propriedades químicas das espécies florestais	34
3.5	Colagem	35
3.6	Condição	37
3.7	Ensaio mecânicos	37
3.8	MEV	39
3.9	Tratamento estatístico	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Caracterização da madeira	40
4.2	Caracterização dos painéis	45
4.2.1	Etapa I – Tempo de prensagem	45
4.2.2	Etapa II – Variação de proporção de pré-polímero e polioliol	54
4.2.3	Etapa III – Gramatura	61
5	CONCLUSÕES	68
	REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

Os produtos derivados da madeira foram desenvolvidos para otimizar o uso da madeira e seus rejeitos, permitindo, com o processo, minimizar as perdas geradas no processamento mecânico da madeira e utilizando peças menores. Dessa forma, a tora é melhor aproveitada, formando um produto de maior valor agregado, PMVA. Fazem parte deste conjunto portas de madeira, pisos, molduras e os painéis colados lateralmente ou em inglês, *Eged Glued Panel*, EGP.

Desses produtos derivados da madeira, mais de 70% consomem algum tipo de adesivo em razão da crescente substituição da madeira por seus derivados, gerando o crescimento no consumo de adesivos sintéticos (CARNEIRO *et al.*, 2001).

Com a crise do petróleo dos anos 1970 e no início do século XXI, houve novo impulso, devido à crise do aquecimento global, no interesse por adesivos que possam ser utilizados em madeira, derivados de matéria-prima renovável. Estes têm sido objeto de diversos estudos com propostas verdes, que não utilizam compostos orgânicos voláteis na sua composição (AZEVEDO, 2009).

A fabricação destes painéis no mercado brasileiro, em sua maioria, ocorre a partir de espécies florestais de pinus e teca por apresentar rápido crescimento no Brasil (IWAKIRI, 2005). Esses painéis são colados geralmente com adesivo poliacetato de vinila, PVAc e emulsão polimérica de isocianato, EPI. Porém, estes adesivos são derivados de petróleo – não biodegradáveis – e podem causar danos à saúde e ao meio ambiente (ARAÚJO, 1998; ALMEIDA, 2013; AZAMBUJA, 2006 e AZEVEDO, 2009).

Durante a produção dos painéis de madeira, alguns parâmetros de processamento podem ser controlados visando à melhora da qualidade e minimização do custo. Nesse sentido, pode-se destacar: o tipo de adesivo, gramatura, tempo de prensagem, pressão específica.

Os adesivos derivados de biomassa, não poluentes e biodegradáveis, são uma alternativa aos adesivos convencionais, destacando-se os adesivos poliuretanos derivados do óleo de mamona, PU, os quais não causam danos ao homem e ao meio ambiente, que são provenientes de recurso natural e renovável. O óleo de mamona utilizado na fabricação do adesivo é obtido da semente da planta, *Ricinus communis*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma alternativa para substituir

os adesivos derivados de origem não natural (AZAMBUJA, 2006 e MARINHO *et al.*, 2013).

O controle de qualidade dos produtos colados de madeira exigido para a exportação é um fator de elevada relevância na indústria, pois critérios determinados são essenciais para a manutenção do mercado exportador (PRATA, 2010). As normas EN 13353 e EN 13354 estabelecem os parâmetros para classificação e exigências de comercialização do EGP dentro do mercado comum europeu.

1.1 Objetivos da pesquisa

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar o adesivo poliuretano bicomponente derivado do óleo de mamona na produção de painéis colados lateralmente.

Para alcançar o objetivo geral, foram seguidos os seguintes objetivos específicos:

- Determinar as propriedades químicas e físicas das espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.
- Avaliar o tempo de prensagem para a produção de painéis colados lateralmente com o adesivo poliuretano bicomponente derivado do óleo de mamona a partir das recomendações do fabricante para a mistura do polioli e pré-polímero, com a espécie florestal *Pinus taeda*.
- Avaliar a proporção de polioli e pré-polímero para a produção de painéis colados lateralmente com o adesivo poliuretano bicomponente derivado do óleo de mamona a partir dos tempos mais significativos da ETAPA I, com a espécie florestal *Pinus taeda*.
- Avaliar a gramatura de colagem para produção de painéis colados lateralmente com o adesivo poliuretano bicomponente derivado do óleo de mamona e comparar com os adesivos PVAc D3 e EPI, com as espécies florestais *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

1.2 Justificativa

A produção de EGP é feita a partir do reaproveitamento de peças de madeira de pequenas dimensões oriundas do resíduo de processamento e também de toras de pequenos diâmetros, provenientes de primeiro desbaste, gerando redução dos custos. Para suprir a demanda industrial de madeira, plantios com espécie de rápido crescimento são essenciais para a manutenção no mercado e alívio das pressões de florestas naturais, como o *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

A qualidade dos produtos colados de madeira para a exportação é um fator determinante, pois os critérios exigidos são importantes para a manutenção do mercado exportador e, por consequência, para o crescimento da indústria brasileira de base florestal. Esses produtos geralmente utilizam adesivos como elemento de ligação que são derivados de petroquímicos que têm na sua composição diversos tipos de Compostos Orgânicos Voláteis, COV's, que podem causar danos à saúde e ao meio ambiente.

Adesivos como as resinas fenólicas ou os adesivos à base de polivinil álcool necessitam de condições mecânicas adequadas para a ancoragem e podem ser aplicados com técnicas a frio ou a quente, com prensagem com frequência; métodos que podem encarecer o produto final. O adesivo de PU, por promover adesão química do isocianato com o OH ativo da espécie de madeira, não necessita de acabamento da superfície a ser colada.

A utilização de junta adesiva ecologicamente correta pode facilitar a abertura deste tipo de material no mercado comum europeu, que é um mercado mais exigente que o mercado brasileiro quanto ao controle de compostos orgânicos voláteis e propriedades mecânicas das juntas adesivas. Optou-se assim, a seguir, os parâmetros da comunidade europeia quanto à qualidade da junta adesiva.

A presente pesquisa busca contribuir para o conhecimento dos parâmetros utilizados no processo produtivo dos painéis colados lateralmente com o adesivo PU e a partir dos resultados poder fazer inferências sobre a adequabilidade de utilização desse adesivo na fabricação do EGP.

1.3 Estrutura do trabalho

Esta pesquisa está estruturada em quatro capítulos. O capítulo II contém uma revisão de literatura sobre os temas: Adesivos, Madeiras e colagem de madeiras. No capítulo III são apresentados os materiais e a metodologia adotada para o desenvolvimento do projeto de pesquisa. No capítulo IV, são apresentados os resultados e as discussões. Finalmente, no capítulo V, apresentam-se as considerações finais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existem diversas teorias sobre a adesividade, porém nenhuma descreve satisfatoriamente a relação entre o adesivo e o aderente, pois foram aprimoradas com o tempo, sendo aplicáveis em determinada circunstância, mas nenhuma com aplicação universal, permitindo fazer predição da durabilidade e da resistência das juntas adesivas (AZEVEDO, 2009). Neste capítulo, serão apresentados os conceitos básicos envolvendo adesivos, madeiras, EGP e os parâmetros para avaliar a colagem da junta adesiva com adesivo derivado de fonte de matéria-prima.

2.1 Adesivos

A norma ASTM para testes e materiais (ASTM D097, 2014) define o adesivo como uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies. Os materiais unidos são mantidos juntos por contato interfacial de tal forma que, ao aplicar uma força mecânica, podem ser transferidos através dessa interface, caracterizando este evento como adesão (WU, 1982).

Segundo Mano (1991), existem diversas vantagens do uso de adesivos: permitem unir materiais diferentes; obtêm tensões bem distribuídas na região da junção; oferecem boa resistência às agressões ambientais e acarretam redução de custos.

Adesão é o fenômeno que mantém superfícies juntas através de forças interfaciais, podendo ser definida como a força de atração, ou energia de ligação, entre moléculas (MANO, 1991). Essas forças interfaciais podem ser mecânicas (encaixe), eletrostáticas (cargas elétricas), atração molecular (forças de valência), camada limite e interfases, adsorção (termodinâmica) e difusão (MANO, 1991; SCHULTZ e NARDIN, 2003 e GARDNER, 2006).

As forças que mantêm juntas as partículas de uma substância são as de coesão (MANO, 1991). A força coesiva de um adesivo polimérico depende do tamanho molecular, da organização macromolecular e da uniformidade supramolecular (MANO, 1999).

Segundo Jesus (2000), para que haja uma perfeita união entre as peças coladas, é de grande importância o conhecimento do mecanismo pelo qual o processo de adesão acontece. Dois mecanismos de adesão são os mais relevantes:

- **Adesão Mecânica:** ocorre em superfícies porosas, havendo o entrelaçamento do adesivo endurecido na junta de colagem e nos poros do aderente.
- **Adesão Química:** as forças básicas envolvidas são as de ligações químicas primárias entre o adesivo e o aderente, responsável pela resistência e duração da ligação adesiva.

Alguns fatores devem ser analisados para a escolha do adesivo a fim de que seja feita uma avaliação correta em relação ao seu desempenho, desde a sua elaboração até a cura e a obtenção da ligação adesiva. Entre esses fatores podem ser citados: penetração, extensão, difusão, solubilidade, deformação e fluxo – reologia, tensões térmicas e de retração, viscosidade, tempo de cura, tempo de armazenamento, rendimento (REINHART e CALLOMON, 1959).

Azevedo (2009) comenta que a análise do comportamento de uma ligação adesiva deve ser feita considerando-se o desempenho do sistema adesivo/aderente. Entre os fatores que influenciam esse comportamento estão a solubilidade do adesivo ao aderente, a rugosidade do aderente, a penetração do adesivo no aderente, a espessura da linha de colagem e a pressão aplicada.

Segundo Mano (1991), os adesivos podem ser classificados segundo a origem:

- **Adesivos Naturais:** podem ser obtidos de fontes animais, vegetais e minerais.
- **Adesivos Semissintéticos:** são derivados dos produtos naturais que sofreram modificação química.
- **Adesivos Sintéticos:** são formados através de reações de poliadição e policondensação.

As normas técnicas internacionais classificam os adesivos de madeira de acordo com sua resistência à umidade e/ou água (HAUBRICH *et al.*, 2007). Segundo o *Forest Products Laboratory* (1999), os adesivos também podem ser indicados de acordo com sua finalidade de uso envolvendo o ambiente em que este adesivo será exposto – estrutural, semiestrutural e não estrutural, Tabela 1.

Com a Segunda Guerra Mundial, adesivos novos foram desenvolvidos, como o resorcinol-formaldeído, de maior custo, porém com a cura à temperatura ambiente e

mais resistente à água, e os primeiros adesivos poliuretanos criados por Bayer, na Alemanha.

Uma variedade de polímeros foi desenvolvida com o avanço ocorrido no estudo da química das macromoléculas, possibilitando grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, de poliéster e de poliuretanas, além do incremento das aplicações dos processos de colagem, com as mais variadas finalidades (MANTILLA CARRASCO, 1984).

Tabela 1 – Classificação dos adesivos de painéis de madeira conforme o ambiente de uso

Classificação dos adesivos	Ambiente de uso	Tipos de Adesivos
Estrutural	Exterior	Fenol-formaldeído (FF)
		Resorcinol-formaldeído (RF)
		Fenol-resorcinol-formaldeído (FRF)
		Emulsão polímero/isocianato
		Melamina-formaldeído (MF)
	Exterior Limitado	Melamina-ureia-formaldeído (MUF)
Semiestrutural	Exterior Limitado	Isocianato
		Epóxi
		Ureia-formaldeído (UF)
Não Estrutural	Interior	Caseína
		Polivinil acetato “ <i>crosslinking</i> ”
		Poliuretano
		Polivinil acetato (PVAc)
		Animal
		Soybean
		“Hot-melt”
		Amido

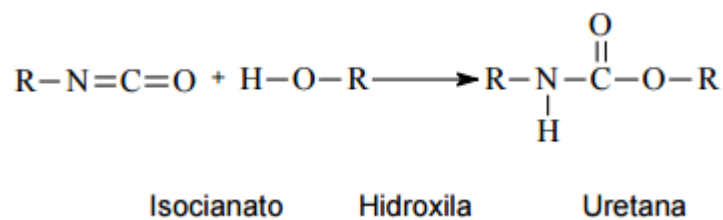
Fonte: Prata (2010 *apud* Forestry Product Laboratory, 1999).

De acordo com Conner (2001) e Iwakiri (2005), adesivos com isocianato, ureia e fenol formaldeído são os mais utilizados para colagem de madeira por apresentarem um alto desempenho de adesão entre as madeiras. Porém estes adesivos apresentam como desvantagem alta toxicidade, sendo necessário cuidado no manuseio e na aplicação no processo de colagem de madeira, devido à emissão de gases tóxicos (TEIXEIRA, 2015).

2.1.1 Adesivos poliuretanos

Poliuretano são polímeros que têm o grupo uretano na cadeia principal e são produzidos pela reação de compostos hidroxilados com isocianato, conforme a Figura 01 (VILAR, 2004). A reação de formação do grupo uretano ocorre entre um isocianato e um composto que contenha o grupo –OH, hidroxila (LOPES, 2007).

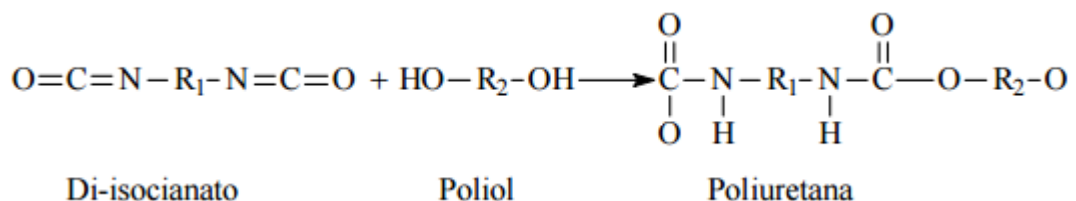
Figura 1 - Reação de formação do grupo uretano



Fonte: Vilar (2004).

Os adesivos poliuretanos podem ser obtidos a partir de duas rotas básicas. A primeira rota é em uma única etapa, *one-shot*, resulta em um adesivo poliuretano monocomponente, onde é apresentado o bloqueio linear destacando-se na estrutura básica os três tipos de intermediários de síntese: o polioliol, di-isocianatos e extensores de cadeia. A segunda rota é preparada em duas etapas, *two-steps*, e resulta em um adesivo poliuretano bicomponente. Primeiro, obtém-se um pré-polímero, Figura 02, em que a polimerização está incompleta no polímero. Este pré-polímero, quando misturado estequiometricamente a um polioliol, resulta em poliuretano (JESUS, 2000).

Figura 2 - Reação de polimerização do poliuretano



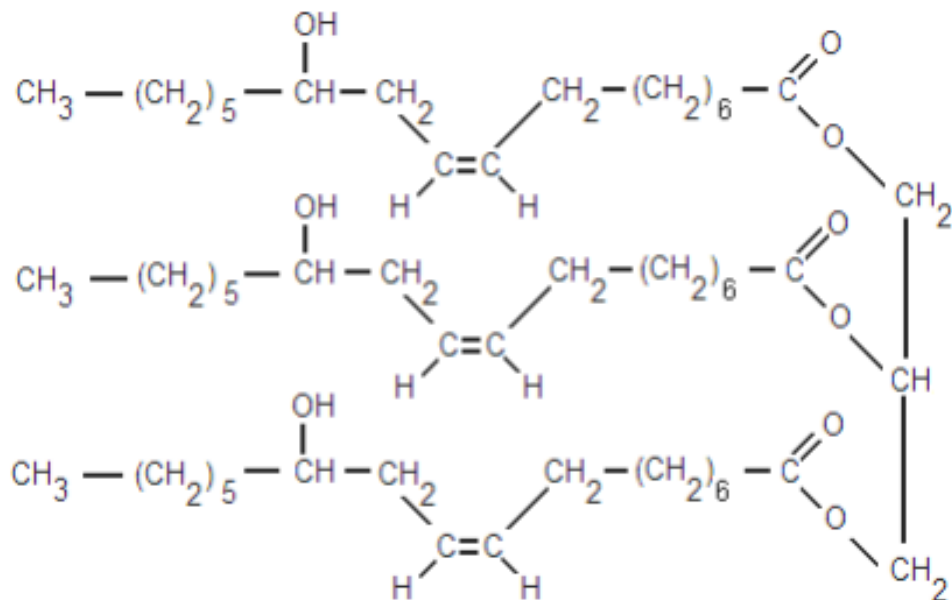
Fonte: Vilar (2004).

Os adesivos poliuretanos podem ter seus polióis derivados tanto de petróleo quanto de outras fontes, cujos monômeros podem ser obtidos de óleos vegetais como soja, canola, milho, palma e mamona (LUO *et al.*, 2008).

Desde 1980 o Grupo de Química Analítica e Tecnologia de Polímeros, GQATP, do Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, desenvolve pesquisa dos poliuretanos derivados do óleo de mamona, PU de mamona (AZEVEDO, 1999). Esse óleo é utilizado na fabricação do adesivo e é obtido através da semente da planta *Ricinus communis*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma alternativa para substituir os adesivos derivados de origem não natural (MARINHO *et al.*, 2013).

Segundo Claro Neto (1997), o óleo de mamona é composto por 89% da triglicéride do ácido ricinoleico, sendo considerado um polioli poliéster natural trifuncional, Figura 3.

Figura 3 - Molécula do triglicéride do ácido ricinoleico



Fonte: Azevedo (2009).

De acordo com tipo de prensagem, tratamento do óleo e os tratamentos e métodos de purificação, o óleo de mamona pode apresentar valores diferentes com relação à sua acidez e umidade, para qual fim a que se destina (AZEVEDO, 2009).

Devido à sua baixa viscosidade, os adesivos poliuretanos apresentam uma boa penetração nos poros de substratos e formam ligações covalentes com substratos que tenham hidrogênio ativo (SEBENIK e KRAJNC, 2007).

Almeida (2013) avaliou o adesivo de PU na colagem lateral de madeira utilizando seis espécies florestais diferentes e concluiu que é possível a colagem

lateral com esse adesivo. Neste caso, a gramatura de cola indicada é entre 150 e 200 g/m², dependendo da espécie florestal a ser utilizada.

Bianche (2014) utilizou a microscopia eletrônica de varredura para avaliação da interface entre madeira e adesivo em juntas coladas de eucalipto e pinus coladas com adesivo PU de mamona, PVAc e resorcinol. Concluiu que os adesivos penetraram nas madeiras, preenchendo cavidades celulares adjacentes à linha de cola principal, nas madeiras de eucalipto (vasos, fibras e células de parênquima) e pinus (traqueídes, raios, pontuações) e os adesivos que apresentaram maiores valores de resistência foram o poliuretano de mamona e o resorcinol-formaldeído.

A utilização do adesivo PU foi pesquisada para a produção de painéis de madeira colados lateralmente, com tempo de prensagem de 3 horas e gramatura de 282 g/m² (OLARESCU & BADESCU, 2008), com a PU monocomponente nas gramaturas de 150 e 200 g/m² nas madeiras de *Pterogyne nitens*, *Patagonula* spp., *Tabebuia* spp., *Hymenaea* spp., *Astroniumlecointei* e *Couratari* spp. (ALMEIDA, 2013). Para a caracterização da superfície de cola, é empregada a técnica de microscopia eletrônica de varredura (LOPES, 2008 e BIANCHE, 2014).

Wilczak (2014) utilizou o adesivo PU de mamona para a produção de painéis compensados, comparando-os com adesivos ureia formaldeído e fenol-formaldeído. A autora realizou as análises de flexão estática e cisalhamento por tração da linha e obteve valores superiores nessas duas análises com adesivo PU de mamona – quando comparado com os demais adesivos estudados. Dessa forma, verificou que a utilização desse adesivo é viável para a produção de painéis compensados.

Fávaro (2004), em sua dissertação de mestrado, pesquisou o adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona para utilização em metais. O adesivo preparado na proporção de 1,0:1,4, de pré- polímero e polioliol, foi o que apresentou melhor desempenho nas colagens. O autor observou, também, que a eliminação das bolhas de ar aumenta a resistência mecânica da junta adesiva, quando a resistência for comparada ao do adesivo sem a retirada de bolhas.

2.1.2 Poli (acetato de vinila)

O adesivo poli (acetato de vinila) ou acetato de polivinila, PVAc, é formado pela polimerização em água de monômeros de vinil, predominantemente monômero de

vinil acetato (Figura 4) fixados pela perda de água principalmente por difusão de água do adesivo na madeira (VICK e ROWELL, 1990 e LOPES *et al.*, 2013).

Figura 4 - Polímero do Poli (acetato de vinila)



Fonte: Mano (1991).

O PVAc é o adesivo termoplástico mais utilizado para colagem de madeiras para uso interior, não estrutural, porém existem múltiplas variações desse adesivo disponíveis no mercado com uma variedade de propriedades de processamento e de ligação (PIZZI, 2003).

Segundo Bandel (1991), o PVAc, conforme as condições de preparação da superfície a ser colada e do processo de colagem, pode resultar em baixa resistência da linha de cola, porém possui uma aplicação rápida e linhas de cola incolores.

As principais utilizações do adesivo PVAc nas operações de colagem de madeiras são: colagem de painéis sarrafeados, emendas do tipo “*finger-joint*”, laminação e montagem (HAUBRICH *et al.*, 2007).

O adesivo PVAc possui as seguintes propriedades físicas: teor de sólidos médio entre 51 e 55%, pH ente 4,0 e 5,0 e uma faixa de viscosidade variando de 6.000 a 8.000 cP (IWAKIRI, 2005).

2.1.3 EPI

A emulsão polimérica de isocianato, EPI, é um adesivo bicomponente, formado por uma base de poli (acetato de vinila) e um isocianato polimérico (difetilmetano-diisocianato – MDI) (SELLERS JR., 1994 e IWAKIRI *et al.*, 2015).

O adesivo EPI possui teor de sólidos de 50%, viscosidade Brookfield de 10.000 cP, massa específica de 1,2 g/cm³ e pH 7,0 (HENKEL LTDA., 2010).

Este adesivo possui uma elevada resistência à umidade, porém o alto custo é uma desvantagem. Apresenta coloração branca e seu catalisador marrom, quando misturado e aplicado em um substrato, forma uma linha de cola incolor (FRIHART, 2005).

As vantagens desse adesivo, segundo Vick (1999), são: resistência à umidade e à temperatura elevada. Lopes (2008) comenta que devido à elevada reatividade deste adesivo, o tempo de aplicação deve ser ajustado de acordo com a recomendação do fabricante.

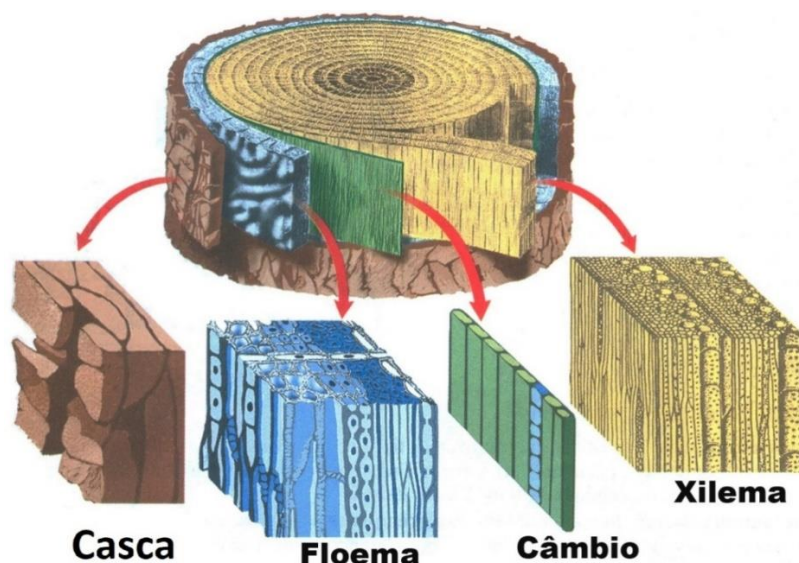
2.2 Madeira

A madeira é constituída de um material heterogêneo e complexo, formado por diferentes elementos celulares, com proporções e distribuição variadas ao longo do tronco (LIMA *et al.*, 2007). É dividida em dois grandes grupos, as gimnospérmicas, que são plantas que não apresentam flores verdadeiras e têm sementes sem proteção, conhecidas como coníferas e angiospérmicas, com flores verdadeiras, e as sementes protegidas, chamadas de folhosas (JUDD *et al.*, 2002).

Ocorre dentro desses grupos uma variedade de espécies com características anatômicas, químicas e físicas próprias, que influenciam suas propriedades. Até mesmo dentro de uma mesma espécie, variações nessas características tanto ao longo da sua secção transversal quanto do seu comprimento (JESUS, 2000).

O tronco de uma árvore contém a casca, o floema, o câmbio vascular secundário e o xilema (madeira), conforme a Figura 5.

Figura 5 - Aspectos macroscópicos da madeira em uma secção transversal do tronco de uma árvore



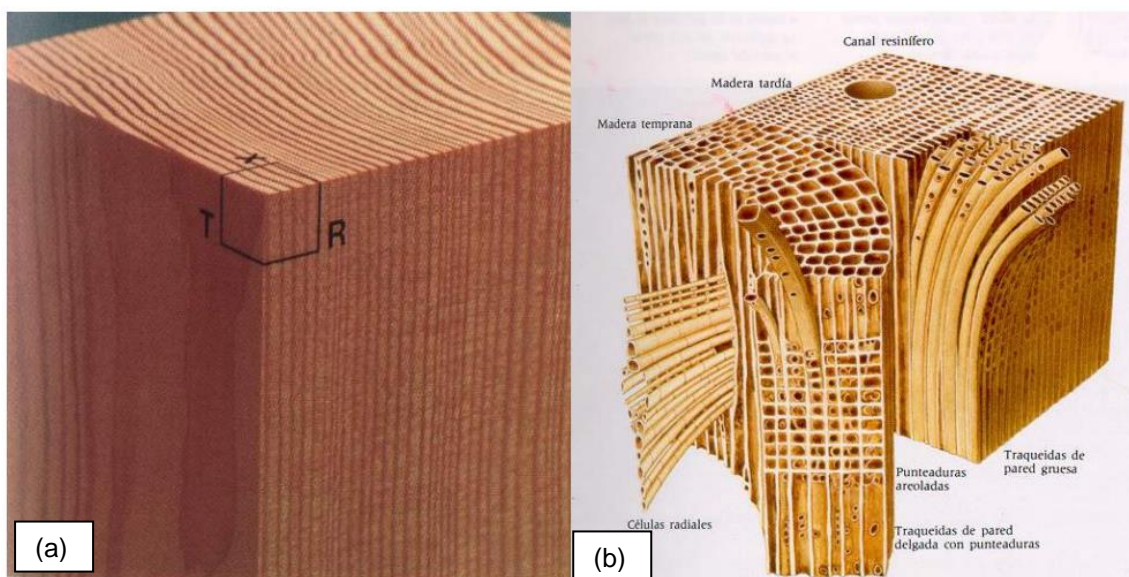
Fonte: Santos (2012).

A casca resulta da morte dos tecidos do floema e tem um papel de isolamento térmico e de proteção do tronco. O floema é um tecido vivo. Sua função garante a circulação dos compostos nutritivos (por exemplo, os açúcares produzidos nas folhas) para os vários tecidos vivos da planta. O câmbio vascular secundário é uma camada de células entre o floema e o xilema, responsável pelo engrossamento do tronco das árvores. É um tecido meristemático, ou seja, não perde a capacidade de se dividir, e todos os anos adiciona células ao floema e ao xilema (ESAU, 1965).

Quando uma amostra de madeira é analisada microscopicamente, diferentes tipos de células podem ser observados. Eles têm a forma tubular, composta por camadas distintas, possuindo uma distribuição diferenciada nos três eixos principais: transversal (x), Longitudinal Radial (R) e Longitudinal Tangencial (T), Figura 6.

Em corte transversal, as células do sistema axial são cortadas transversalmente e revelam suas menores dimensões; os raios, por sua vez, são expostos em sua extensão longitudinal. Quando o caule é cortado longitudinalmente, pode-se obter dois tipos de corte: o radial e o tangencial. Os cortes radiais expõem os raios como faixas horizontais perpendiculares ao sistema axial. Cortes tangenciais seccionam o raio quase perpendicularmente à sua extensão horizontal e mostram sua altura e largura (NISGOSKI, 2009).

Figura 6 - (a) distribuição dos planos anatômicos de corte e (b) planos anatômicos de uma conífera



Fonte: Nisgoski (2009).

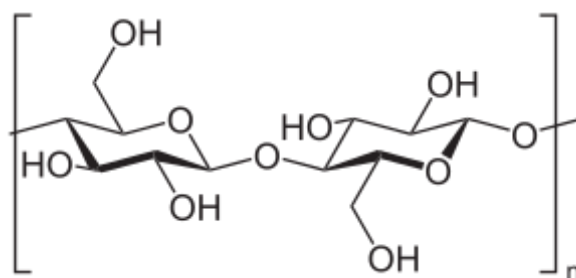
As células da madeira das coníferas são mais simples do ponto de vista estrutural, quando comparadas com a madeira das folhosas. Elas são constituídas por células designadas por traqueídes, que têm dupla função: transporte de água e estrutura (SCHWEINGRUBER, 1990). Para as folhosas, o sistema apresenta diversas células, traqueídes, herança das coníferas, vasos (responsáveis pelo transporte da água), fibras (função estrutural) e parênquima axial (reserva de nutrientes e água) (SCHWEINGRUBER, 1990).

De acordo com Fengel & Wegener (1989), a composição química da madeira varia de acordo com os grupos aos quais ela pertence, gimnosperma ou angiosperma. A madeira é composta principalmente por celulose, polioses (hemicelulose) e lignina e em menor quantidade estão os extrativos e as substâncias minerais que constituem o material inorgânico.

Comparando-se as quantidades de compostos nas folhosas e nas coníferas, pode-se observar que as folhosas possuem um pouco mais celulose (45%) do que as coníferas (41%) e menor quantidade de lignina (22% e 28% respectivamente).

A celulose é um polímero linear constituído unicamente por moléculas de D-glucose unidas entre si através de ligações glicosídicas do tipo β (1 \rightarrow 4), que resultam na perda de uma molécula de água, Figura 7. É responsável pela maioria das propriedades físicas, químicas e mecânicas da madeira.

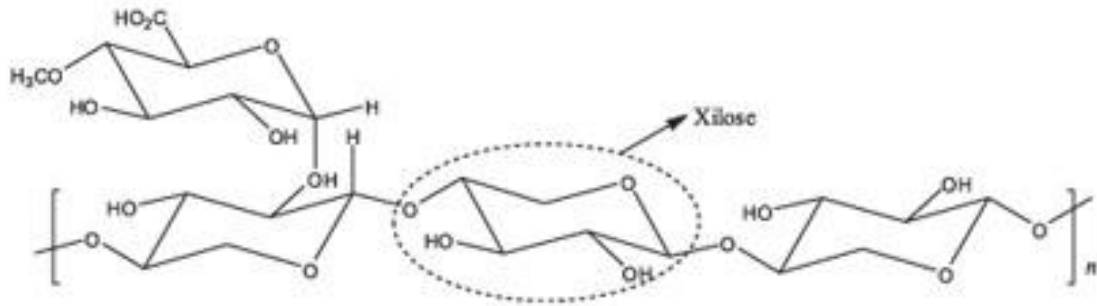
Figura 7 - Polímero da celulose



Fonte: Klock (2000).

As hemiceluloses são estruturalmente mais semelhantes à celulose do que a lignina. Apresentam ramificações que interagem facilmente com a celulose, proporcionando estabilidade e flexibilidade ao agregado. Compostos por D-glucose, D-galactose, D-manose, D-xilose, L-arabinose, ácido D-glucurônico e ácido 4-O-metilglucurônico, as hemiceluloses formam um heteropolissacarídeos complexo, conforme Figura 8.

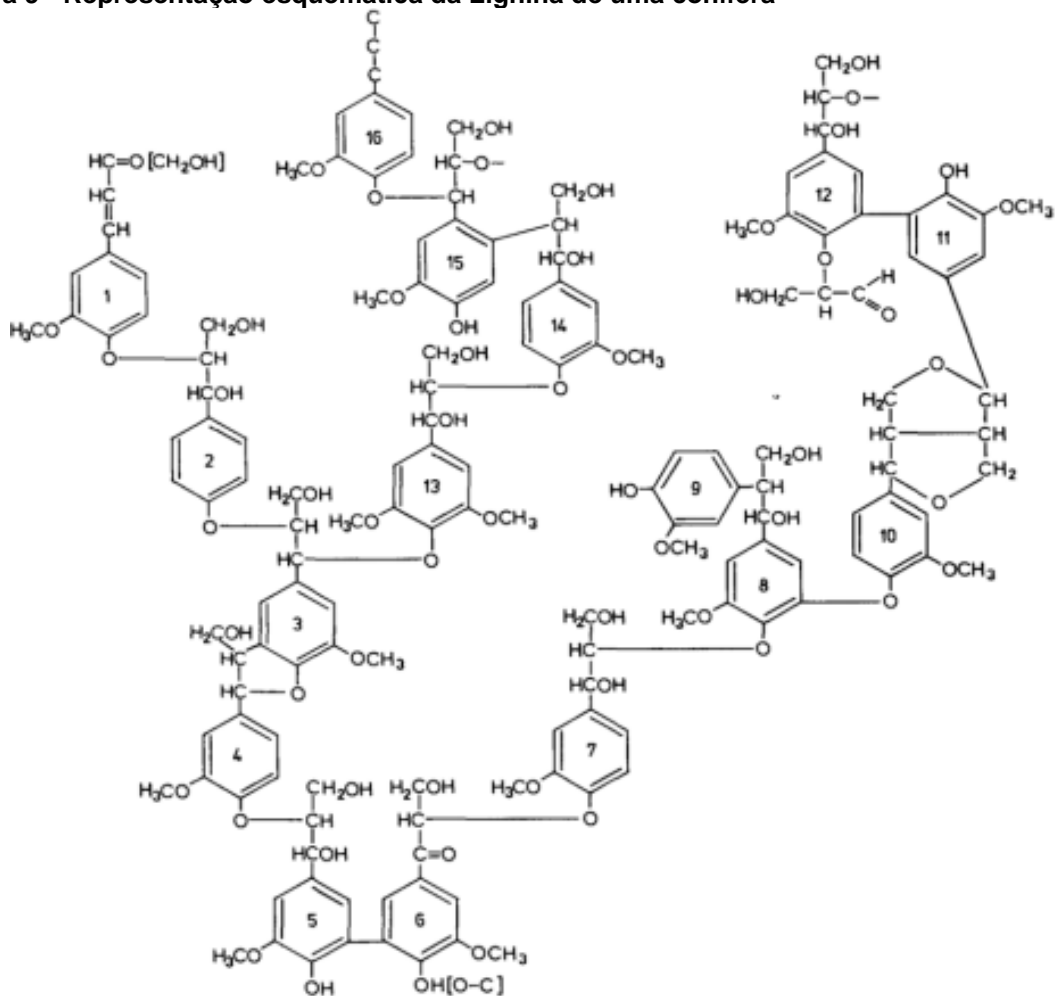
Figura 8 - Polímero da hemicelulose



Fonte: Oliveira (2011).

A lignina é um polímero amorfo, predominantemente aromático, altamente complexo, Figura 9, que tem como principais funções dar suporte mecânico e rigidez adicional para a parede celular, tornando-a hidrofóbica, impermeável e resistente, fator que contribui para a defesa da madeira contra microorganismos.

Figura 9 - Representação esquemática da Lignina de uma conífera



Fonte: Adler (1977).

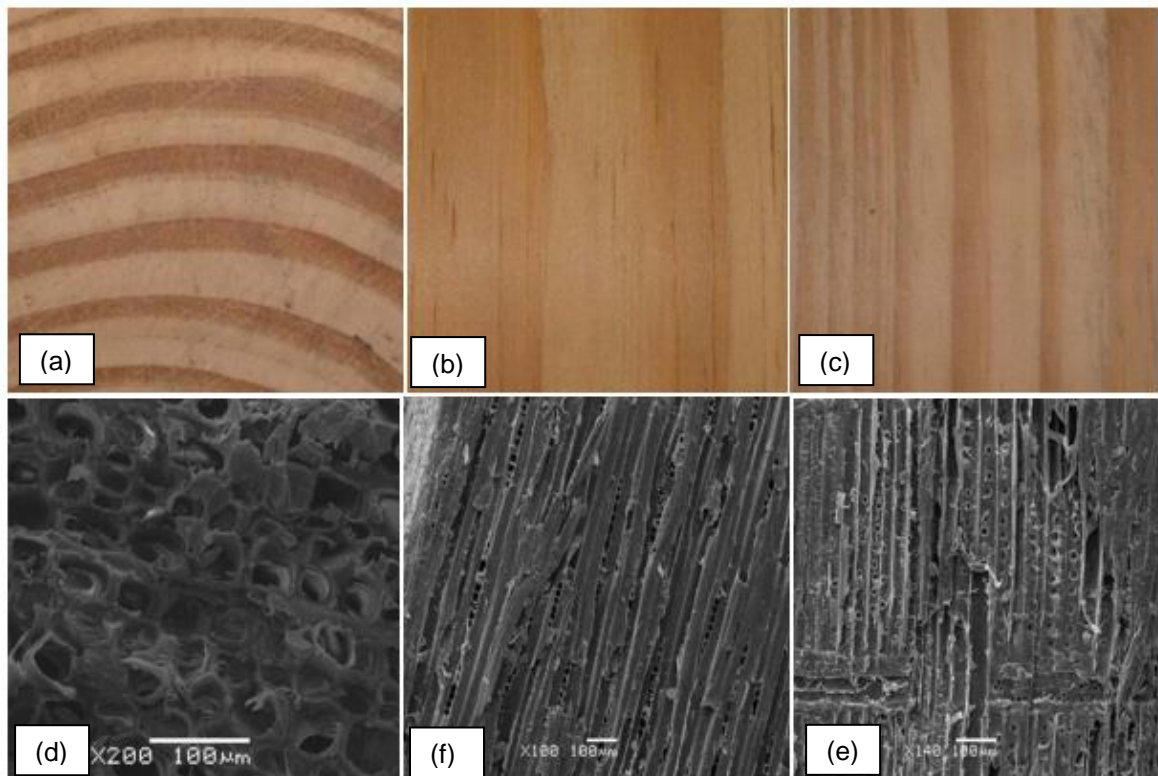
2.2.1 *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* é uma conífera economicamente importante, nativa do Sul dos Estados Unidos, largamente plantada em regiões temperadas e subtropicais (VALERI *et al.*, 1989; TANG e NEWTON, 2004). No Brasil, foi introduzida pelo Serviço Florestal do Estado de São Paulo, juntamente com as seguintes espécies: *Pinus palustris* Mill., *Pinus echinata* Mill., *Pinus elliottii* Engelm (SHIMIZU e SEBBENN, 2008).

As plantações comerciais desta espécie possuem cerca de 7,74 milhões de hectares de árvores plantadas para fins industriais – sendo, deste total, 1,59 milhão de hectares – e se concentram nas regiões Sul e Sudeste (IBÁ, 2015).

Segundo Trianoski (2012), as características macroscópicas da madeira de *Pinus taeda* apresentam cerne e alborno indistintos, coloração amarela clara, grã direita, brilho moderado, textura média a grossa, anéis de crescimento distintos onde o lenho inicial e o lenho tardio são bem demarcados com transição abrupta entre as células, Figura 10.

Figura 10 - Fotos da espécie *Pinus taeda*: Macroscópica dos planos (a) transversal, (b) tangencial e (c) radial e microscopia eletrônica de varredura dos planos (d) transversal, (e) tangencial e (f) radial



Fonte: Trianoski (2012).

Segundo Chimelo (1986), a estrutura anatômica do lenho das coníferas é relativamente simples, com 93% de traqueídes (longas, 2-6 mm de comprimento, extremidades fechadas), 6% de parênquima radial e 1% de canais resiníferos, conforme a Figura 10.

A composição química da espécie *Pinus taeda* apresenta extrativos totais de 4,85%, teor de lignina de 31,87%, materiais inorgânicos de 0,25%, solubilidade em água: fria de 1,96% e quente de 3,03% (LAU, 2017).

A espécie *Pinus taeda* é utilizada para: arborização, parques e jardins; produção de celulose; construção civil; dormentes; laminação; móveis; particulados (aglomerado, OSB, *waferboard*); postes; resinas e serraria (LORENZI *et al.*, 2003 e BEATRIZ e MARTO, 2009).

2.3 *Tectona grandis*

A *Tectona grandis* (ou teca) é uma árvore de grande porte, nativa das florestas tropicais situadas no subcontinente Índico e no sudeste asiático, principalmente na Índia, Burma, Tailândia, Laos, Camboja, Vietnã e Java. Devido à sua dispersão geográfica e à variedade de ambientes onde ocorre naturalmente, a teca é uma espécie de alta adaptabilidade com dispersão vertical entre 0 e 1300m acima do nível do mar, ocorrendo em áreas com precipitação anual de 800 a 2500 mm e temperaturas extremas de 2° a 42°C, porém não resiste à geada (ANGELI, 2003).

Segundo a Indústria brasileira de árvores, em 2014 a superfície plantada da espécie de teca no Brasil foi de 87.499 mil ha (IBÁ, 2015). A madeira de plantios florestais de teca é utilizada principalmente na forma de madeira serrada para produção de painel colado lateralmente, fabricação de móveis, portas e na decoração interna (RECH, 2009).

A madeira da teca apresenta limites de anéis de crescimento distintos, cor do cerne marrom a amarelo, cerne com veias pronunciadas e alburno distinto a cor do cerne, Figura 11.

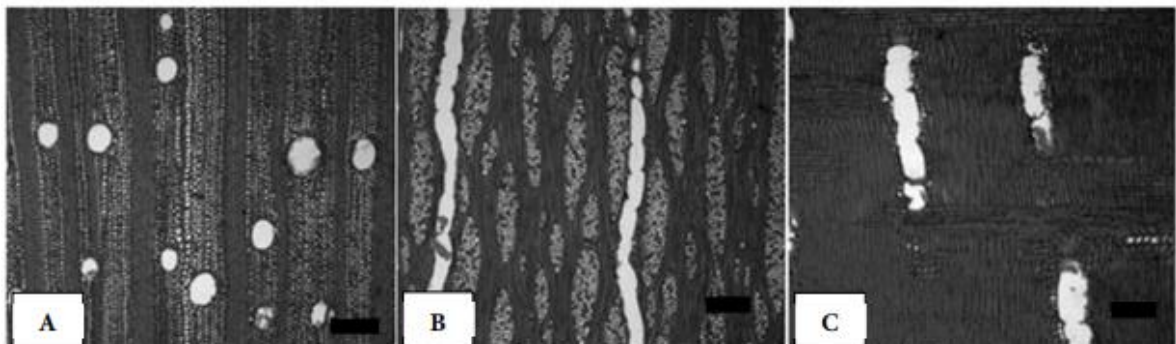
Figura 11 - Fotos macroscópicas da espécie *Tectona grandis*: (A) Plano transversal, (B) Plano longitudinal



Fonte: Richter e Dallwitz (2009).

Segundo Chagas *et al.* (2014), a madeira de *Tectona grandis* apresentou anéis de crescimento distintos em âmbito microscópico. Vasos dispostos em anéis semiporosos, sem arranjo definido, predominantemente solitários e com a presença de vasos múltiplos de dois (geminados) e rara ocorrência de vasos múltiplos de três ou mais. Vasos solitários com forma circular, com tendência oval, sem ocorrência de tilos. Parênquima axial paratraqueal escasso; raios multisseriados, com cinco ou mais células de largura, homogêneos, formados exclusivamente por células procumbentes. Fibras libriformes e curtas. A parede das fibras é de delgada a espessa, possuindo pontoações predominantes na parede radial, de acordo com a Figura 12.

Figura 12 - Madeira de teca de quatro anos, para a seção: (A) transversal, (B) tangencial e (C) radial. Barra = 200 μ m



Fonte: Chagas *et al.* (2014).

A composição química da espécie *Pinus taeda* apresenta extrativos totais de 8,27%, teor de lignina de 33,97%, materiais inorgânicos de 0,49%, solubilidade em água: fria de 3,61% e quente de 4,97% (FONTE, 2015).

A madeira da teca é utilizada em diversos setores, como o de mobília de luxo, construções navais e esquadrias de alto padrão por possuir uma alta durabilidade, boa estabilidade dimensional, resistência, pouco peso e qualidades estéticas (TONINI *et al.*, 2010 e INOUE SANQUETA *et al.*, 2016).

2.4 Painéis de madeira colados lateralmente

Painéis de madeira colada lateralmente ou *Edge Glued Panel*, EGP, são painéis compostos por sarrafos de madeira unidos através de ligação adesiva nas laterais podendo ou não ser unidos de topo por meio de emendas do tipo “*finger joint*” (PRATA, 2010).

Segundo Nicholls (2010), as vantagens da produção de EGP são o custo relativamente baixo dos equipamentos, utilização de toras de pequenos diâmetros, sarrafos com dimensões menores provenientes de resíduos das serrarias e flexibilidade no tamanho final do painel.

O EGP é considerado como Produto de Maior Valor Agregado, PMVA, pois agrega valor e aumenta o rendimento industrial por utilizar sarrafos estreitos ou curtos que seriam descartados nas serrarias e indústrias de pisos. A matéria-prima pode ser mais bem aproveitada e os custos reduzidos, pois a madeira representa um dos maiores custos de produção (IWAKIRI, 2005; ABIMCI, 2008 e BILA, 2014).

Segundo Prata (2010), a qualidade de colagem dos painéis EGP pode ser avaliada pelas seguintes normas: ASTM D 5751:1999, EN 204:2001 e EN 13353:2003.

De acordo com Almeida (2013), a fabricação destes painéis no mercado brasileiro, em sua maioria, ocorre a partir de espécies florestais de pinus, eucalipto e teca, coladas lateralmente com adesivo PVAc, e EPI. Estes adesivos, porém, são derivados de petróleo, não biodegradáveis e podem causar danos à saúde e ao meio ambiente. Adesivos derivados da biomassa, não poluentes e biodegradáveis, são uma alternativa (AZAMBUJA, 2006 e AZEVEDO, 2009).

Durante a fabricação dos painéis EGP, baixas resistências da linha de cola podem ser obtidas quando a superfície for preparada em lixadeira pelo fato de aumentar a rugosidade superficial da madeira, causando uma ligação mecânica e diminuindo a ligação química entre as superfícies (MITCHELL e LEMASTER, 2002 e ÖZÇİFÇİ e YAPICI, 2007).

Iwakiri *et al.* (2013), avaliando a qualidade de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii*, coladas com adesivos PVAc e resorcina-fenol-formaldeído, em diferentes faces de colagem, tangencial com tangencial, radial com radial e tangencial com radial, observaram que, quando analisado o efeito da face de colagem na resistência ao cisalhamento, as juntas coladas tangencial/radial apresentaram média estatisticamente igual em relação às faces tangenciais e radiais, onde se teve pouca influência quando colado com planos diferentes.

2.4.1 Técnicas de caracterização das Propriedades mecânicas da junta adesiva

O propósito de testar a performance do adesivo é garantir que as junções coladas não apresentarão deterioração antes que possam atingir os objetivos esperados. Geralmente, os métodos de teste almejam prever como se comportarão as junções coladas em um carregamento específico (VICK, 1999).

Segundo Bila (2014), a capacidade de adesão entre a madeira e o adesivo é obtida através dos resultados dos testes de resistência das juntas coladas e do percentual de falha na madeira, determinados através de procedimentos padronizados (normas) e reconhecidos a nível internacional.

- **Propriedades mecânicas:**

A maior parte dos testes de resistência de juntas coladas prevê simular as piores condições de uso do produto, assim como as piores condições ambientais de transporte e acondicionamento.

As normas EN-204 (2001) e EN-205 (2002), as quais descrevem as classes de durabilidade dos adesivos, não avaliam a qualidade da interação de colagem entre madeira e adesivo, mas sim a qualidade do adesivo em resistir às condições adversas, pois a norma determina um substrato específico, a madeira de faia (*Fagus sylvatica*L.) (ALMEIDA, 2015).

Assim, para a avaliação de qualidade das juntas coladas, as normas ASTM 5572 (2005) EN 13354 (2009) são mais adequadas, pois descrevem ensaios específicos para a análise de peças coladas de madeira sólida e de painéis de madeira sólida de espécies de coníferas ou de folhosas. A norma EN-13354 (2008) fornece procedimentos para os ensaios de cisalhamento da linha de cola a fim de avaliar a qualidade da linha de colagem e classificar o adesivo segundo o local de utilização, como uso interno ou externo não estrutural, não exigindo que a colagem seja realizada com a orientação dos planos de corte da madeira.

Descreve o corpo de prova que a norma EN-13353 (2003) coloca que os requisitos mínimos são o 5º percentil do cisalhamento na linha de cola, que deve ser maior ou igual a 2,5 N/mm² e 40 % na falha na madeira.

- **Falha na madeira:**

A falha na madeira é determinada pela norma EN 314-1 (2004) e classifica visualmente a qualidade de colagem para se apurar a eficiência de colagem por meio de avaliação da porcentagem de falhas da madeira, ou seja, a porcentagem de fibras arrancadas nas faces coladas de cada corpo de prova. Sendo essas variáveis inversamente proporcionais, quando se identifica 100% de falha no adesivo se tem 0% de falha na madeira.

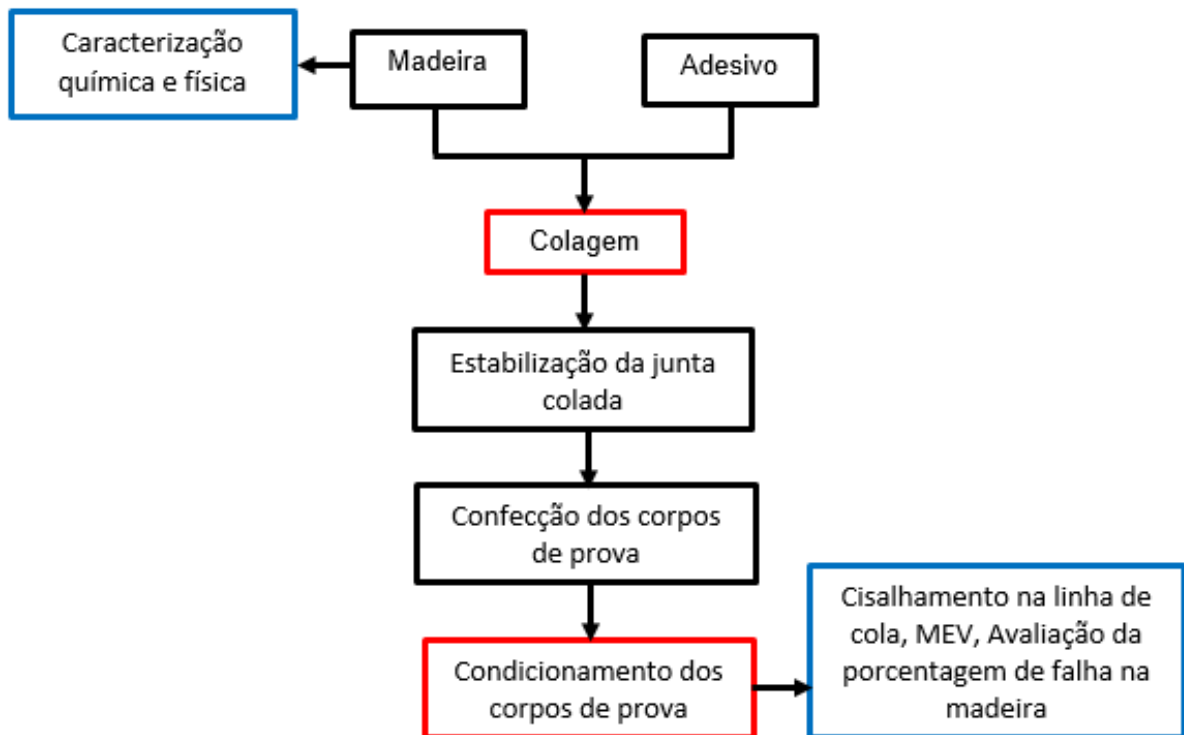
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos utilizados. É descrita a preparação do poliuretano, bem como são apresentados os métodos utilizados para a caracterização química e física dos adesivos e das madeiras, procedimentos para a confecção dos painéis EGP e os equipamentos utilizados para a caracterização mecânica dos painéis e as análises estatísticas utilizadas nesse projeto.

3.1 Fluxograma de atividades

A Figura 13 apresenta o fluxograma das atividades realizadas em todas as etapas desse estudo.

Figura 13 - Fluxograma das atividades



3.2 Adesivos

Foram utilizados os adesivos PU de mamona, bicomponente, Polibond®, doados pela empresa Cequil, PVAc e EPI, doados pelo Laboratório de painéis da UFPR.

3.3 Madeira

Foram utilizados sarrafos de madeiras refugadas de *Pinus taeda*, doadas pela empresa BrasPine Madeiras Ltda e *Tectona grandis*, doado pela empresa Berneck. As madeiras foram fornecidas em forma de sarrafos aplainados desclassificados do processo industrial das empresas, medindo 31,5 cm (comprimento) X 4,0 cm (largura) X 2,5 cm (espessura), para a confecção das juntas coladas.

3.4 Propriedades físicas e químicas das espécies florestais

Foram determinadas as seguintes propriedades físicas e químicas das madeiras: teor de umidade, massa específica, solubilidade em água fria, água quente, hidróxido de sódio, NaOH, teor de extrativos em etanol-tolueno, extrativos totais de lignina e materiais orgânicos.

3.4.1 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira foi determinado de acordo com os procedimentos descritos na norma EN 323 (2000), onde foram pesados os sarrafos inicialmente em balança analítica e colocados em estufa climatizada até se obter a massa constante. O teor de umidade foi determinado de acordo com a Equação 1.

$$T = \frac{P_f - P_s}{P_s} \quad (1)$$

Onde T é o teor de umidade (%), Pf é a massa da madeira úmida (kg) e Ps é a massa da madeira seca (kg).

3.4.2 Densidade básica

A densidade das espécies foi determinada seguindo os procedimentos da norma COPANT 461 a partir de todas as amostras a serem coladas. Foram realizadas medições das dimensões com o auxílio de um paquímetro, e da massa, por meio de balança analítica de precisão. A densidade básica foi determinada de acordo com Equação 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Neste caso, ρ é densidade básica (kg/m^3), m é a massa da madeira (kg) e V é o volume (m^3).

3.4.3 Propriedades químicas das espécies florestais

Para a determinação das propriedades químicas das duas espécies estudadas, foram obtidos cavacos da madeira, os quais foram transformados em serragem e, posteriormente, o material foi classificado em peneiras com granulação de 60 *mesh*. As análises foram realizadas no Laboratório de Química de Madeira da UFPR. Para todas as análises químicas foram realizadas 3 repetições por espécie. As propriedades determinadas e suas respectivas normas estão descritas na Tabela 2.

Tabela 2 - Análises químicas e suas respectivas normas

Análises químicas	Norma
Solubilidade em água fria	TAPPI 207
Solubilidade em água quente	TAPPI 207
Solubilidade em hidróxido de sódio, NaOH	TAPPI 212
Teor de Extrativos em etanol-tolueno	TAPPI 204
Teor de Extrativos totais	TAPPI 204
Teor de Lignina	TAPPI 222
Teor de cinzas	TAPPI 211

3.5 Colagem

Os sarrafos foram colados com os diferentes adesivos, sendo a aplicação realizada com o auxílio de uma espátula sobre uma das faces das peças, com área de $0,0126 \text{ m}^2$, Figura 14. A quantidade de adesivo aplicado, medido com balança de precisão, varia conforme a gramatura desejada, Tabela 3.

Figura 14 – Aplicação do adesivo PU de mamona de acordo com a gramatura definida com a ajuda da balança de precisão



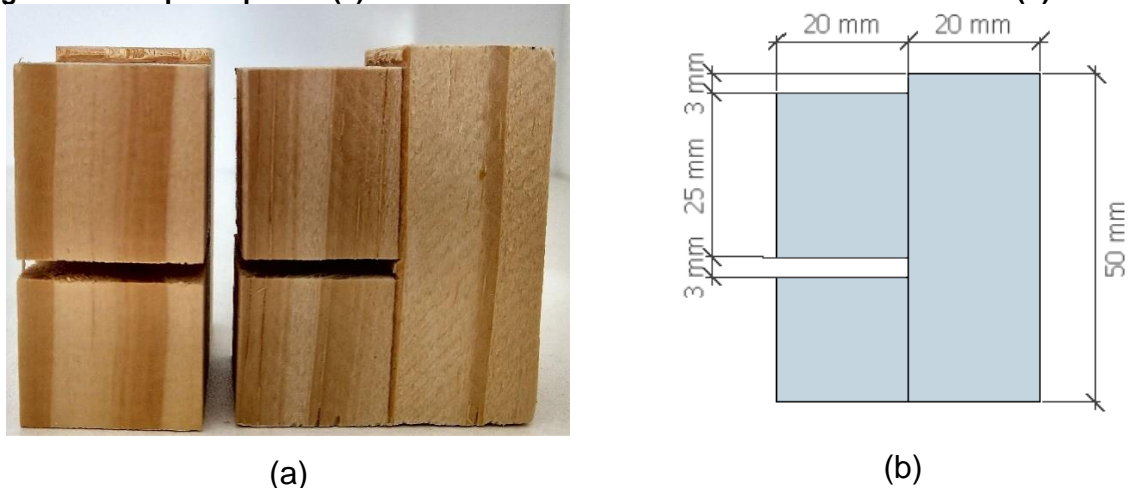
Após a aplicação, as peças foram unidas duas a duas e prensadas com pressão específica de $6,45 \text{ kgf/cm}^2$, exercida por meio de um torquímetro (30 Nm). O delineamento experimental ocorreu em três etapas, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Delineamento experimental

Etapa	Espécie	Adesivo	Tempo de Prensagem (h)	Proporção de pré-polímero e polioliol	Gramatura	
					(g/m ²)	1 face (g)
I	Pinus	PU	1	1:1	180	2,268
			2			
			4			
			8			
			24			
II	Pinus	PU	2	1:0,7	180	2,268
			4	1: 1,3		
				1:0,7		
				1: 1,3		
III	Pinus	PU	4	1:0,7	160	2,016
					140	1,764
					120	1,512
		PVAc D3	2	-	180	2,268
					EPI	2
	Teca	PU	4	1:0,7	160	2,016
					140	1,764
					120	1,512
		PVAc D3	2	-	180	2,268
					EPI	2

Após a colagem, as juntas foram acondicionadas em câmara climática à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$ por 7 dias, sendo então seccionadas para confecção dos corpos de prova para avaliação da qualidade de colagem, conforme a Figura 15.

Figura 15 - Corpo de prova: (a) Dimensões de acordo com a norma EN13354:2008 (b) foto real



Foram obtidos 40 corpos de prova por tratamento, sendo que para cada pré-tratamento foram ensaiados 10, conforme amostragem sugerida pela norma EN 13354 (2008).

3.6 Condição

As condições padronizadas pela norma EN 13353 (2003) e EN 13354 (2008) para avaliação da qualidade de colagem de painéis de madeira sólida e adotados neste trabalho foram:

- Condição úmida: 24 h em água (20 ± 3)°C;
 - Condição fervura: 6 h em água fervendo mais 1 h em água fria (20 ± 3)°C;
 - Condição externa (ciclo): 4 h em água fervendo, 16 a 20 h secando (60 ± 3)°C
- 4 h em água fervendo - 1 h em água fria (20 ± 3) °C.

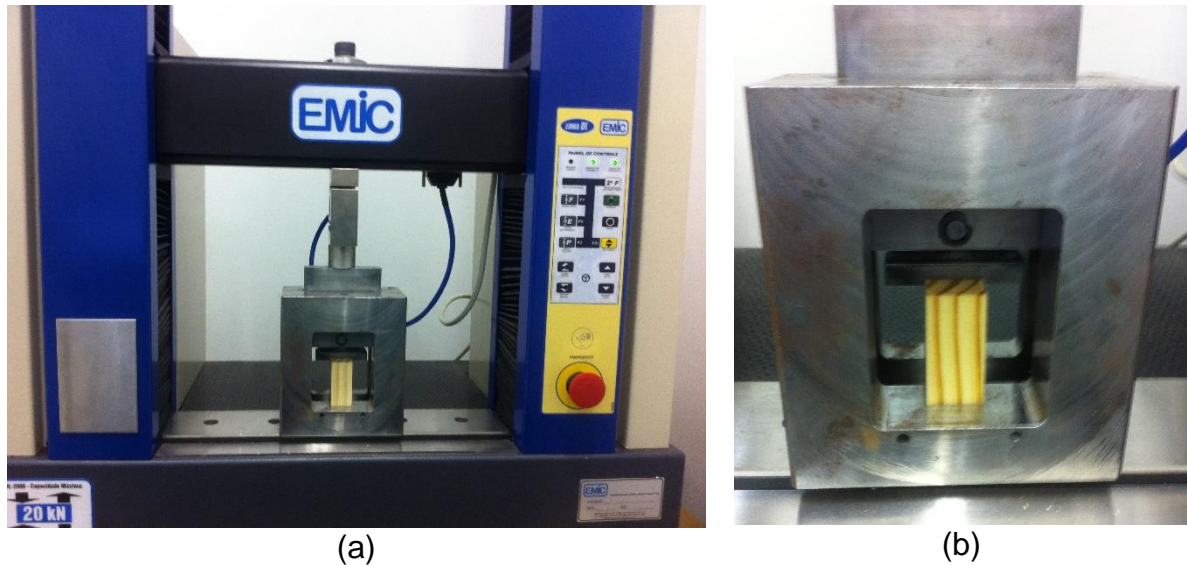
Além das condições mencionadas acima, foram ensaiados 10 corpos de prova na condição seco (climatizados à temperatura de 20 ± 3 °C e umidade relativa de $65 \pm 5\%$), para servirem como parâmetro de comparação.

3.7 Ensaio mecânicos

Os ensaios para determinação da resistência à tração da linha de cola foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC10000DL 2000, Figura 16. Ao término do ensaio de cada amostra foi realizada a avaliação da porcentagem de falha na madeira na superfície de ruptura da linha de cola.

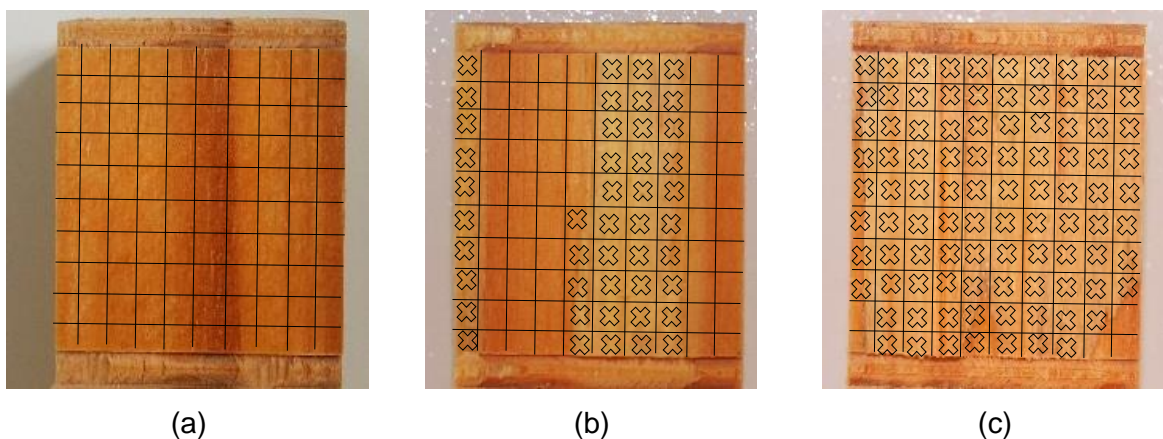
Com os resultados de forças máximas (N) obtidas nos testes de resistência ao cisalhamento da linha de cola, juntamente com a informação da área ensaiada (mm^2) dos corpos de prova, foi calculada a resistência ao cisalhamento (MPa). Com essa informação, procedeu-se o cálculo do 5º percentil para cada tratamento – conforme a norma EN 326-1 (EN, 2002).

Figura 16 – Ensaio de cisalhamento na linha de cola: (a) Máquina universal de ensaios EMIC e (b) aparato para o encaixe do corpo de prova



À percentagem de falha de cada ensaio foi utilizada uma lâmina de acrílico com divisões, conforme a Figura 17, onde cada divisão correspondia a 1% de falha na madeira, quando se identifica 100% de falha no adesivo se tem 0% de falha na madeira, se fazendo a média aritmética para cada tratamento. Os resultados obtidos para o 5º percentil (MPa) e para a falha (%) foram comparados com o especificado pela norma EN 13353 (EN, 2003).

Figura 17 – Classificação da percentagem de falha na madeira: (a) 0% (b) 45% (c) 95%



3.8 MEV

Foram realizadas micrografias para avaliar as superfícies da madeira após a secagem e a região da falha na madeira ou no adesivo após o ensaio de cisalhamento através do Microscópio Eletrônico de Varredura, MEV, da marca ZEISS, modelo EVO MA 15 (Figura 18) do Centro Multiusuário de Caracterização de Materiais da UTFPR Curitiba.

Figura 18 - Microscópio Eletrônico de Varredura da UTFPR



3.9 Tratamento estatístico

Foi utilizado o programa estatístico Statgraphics Centurion 16.1.11, sendo os dados submetidos aos testes de Grubbs para avaliar a ocorrência de *outliers*; Kolmogorov para testar a aderência dos dados; Bartlett para homogeneidade de variância e Análise de variância. Quando rejeitada a hipótese de nulidade, foi aplicada a comparação de médias de Tukey, a 95% de confiabilidade.

4 RESULTADOS e DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos na caracterização das madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis* e dos painéis colados lateralmente com adesivo PU de mamona, variando o tempo de prensagem e proporção de polioliol e pré-polímero para juntas coladas de madeira de *Pinus taeda*. Após essa caracterização foi realizada a comparação com adesivos utilizados no mercado para a produção de painéis colados lateralmente de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, juntamente com a variação na gramatura do adesivo de mamona.

4.1 Caracterização da madeira

Os resultados médios para a densidade básica e caracterização química das madeiras das espécies estudadas são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Caracterização química das espécies

Análises		Espécie	
		<i>Pinus taeda</i>	<i>Tectona grandis</i>
Físicas	Densidade básica (kg/m ³)	551,43 b (13,88)	598,59 a (6,18)
	Umidade (%)	11,22 a (9,08)	9,90 a (41,46)
Químicas	Solubilidade em água fria (%)	2,21 b (5,55)	2,46 a (11,16)
	Solubilidade em água quente(%)	2,81 b (6,64)	3,37 a (4,75)
	Solubilidade em hidróxido de sódio, NaOH(%)	7,10 b (3,54)	14,39 a (14,69)
	Teor de Extrativos em etanol-tolueno	2,90 b (9,41)	5,74 a (5,97)
	Teor de Extrativos totais(%)	3,14 b (5,89)	7,75 a (4,24)
	Teor de Lignina(%)	26,81 b (0,44)	30,20 a (4,36)
	Teor de cinzas (%)	0,23 b (6,18)	1,34 a (1,32)

Médias seguidas por mesma letra, na mesma linha, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiabilidade.

Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em %.

De acordo com estes resultados, o valor médio da densidade da madeira de *Pinus taeda* foi de 551,43 kg/m³ com 13,88% de coeficiente de variação e para a espécie *Tectona grandis* 598,59 kg/m³ com coeficiente de variação de 6,18%. As duas espécies apresentaram diferenças estatísticas para a densidade.

Segundo USDA (1985), a densidade da espécie *Pinus taeda* apresenta valores baixos, porém se podem encontrar diferenças em função de variáveis de influência, como diferentes idades, procedências, sítios, condições de crescimento e métodos de ensaio. A literatura reporta valores para densidade de 364-467kg/m³ (KLOCK, 2000), 605 kg/m³ (BALLARIN & LARA PALMA, 2003), 500 kg/m³ (TRIANOSKI *et al.*, 2011), 485 kg/m³ (TRIANOSKI *et al.*, 2016) e 370 kg/m³ (LAU, 2017).

Iwakiri *et al.* (2014) obtiveram para a espécie de *Tectona grandis* uma massa específica aparente igual a 519 kg/m³. Fonte (2014) obteve para a mesma espécie igual a 559 kg/m³; Bonduelle *et al.* (2015) igual a 606 kg/m³, apresentando valores similares aos apresentados neste estudo.

O teor de umidade médio obtido foi de 11,22% para a espécie de *Pinus taeda* e de 9,90% para a espécie *Tectona grandis*, sendo estatisticamente iguais. Estes resultados estão dentro da média de indicação de colagem segundo os fabricantes dos adesivos, que é entre 8-12% (BANDEL, 1991).

A espécie *Tectona grandis* apresentou valores médios mais elevados que a espécie *Pinus taeda* nas análises de solubilidade em água fria, água quente e hidróxido de sódio, teor de extrativos em etanol-tolueno e totais, teor de lignina e cinzas, na qual todas as análises químicas apresentaram diferenças significativas entre as espécies.

A espécie floresta *Tectona grandis* apresentou maior teor de componentes solúveis em água fria, com valor médio igual a 2,61% em relação ao seu peso seco, que a espécie *Pinus taeda* (2,27%). Para a solubilidade em água quente a *Tectona grandis* (3,37%) também apresentou valores superiores à espécie *Pinus taeda* (2,81%).

A espécie *Tectona grandis* obteve o valor mais alto para a solubilidade em hidróxido de sódio, sendo este igual a 14,39%. Segundo Trianoski (2010), a solubilidade em hidróxido de sódio determina o grau de ataque da madeira por fungos e outros agentes biodegradadores, porém muitas vezes ocorre durante esta análise a solubilização da lignina e das hemiceluloses, o que pode aumentar componentes solúveis neste reagente, sem a madeira estar realmente degradada.

Os valores médios de extrativos em etanol-tolueno e em extrativos totais para a espécie *Tectona grandis* (5,74% e 7,75%) são superiores em relação à espécie *Pinus taeda* (2,90% e 3,14%). Segundo Trianoski (2012), uma maior quantidade de extrativos pode exercer influência negativa sobre a polimerização de adesivos, tintas

e vernizes. Segundo Trugilho (2012), o teor de cinzas da *Tectona grandis* encontrado na literatura pode variar na madeira na faixa de 0,2 a 1,0%, sendo os valores encontrados nessa pesquisa um pouco elevados quando comparados à literatura.

Para o teor de lignina a espécie *Pinus taeda* obteve o valor médio em 26,81% e para a *Tectona grandis* igual a 30,20%. Em relação ao teor de cinzas, a espécie *Tectona grandis* (1,34%) obteve valor superior ao *Pinus taeda* (0,23%), demonstrando que a espécie *Tectona grandis* poderá ter um desgaste excessivo das ferramentas de corte durante o seu processamento de acordo com Trianoski (2012).

Quando analisada a composição química das espécies *Pinus taeda* e *Tectona grandis* para a colagem com o adesivo PU, é esperado que quanto maior o teor de extrativos totais menor será a adesão do adesivo na madeira, pelo fato de os extrativos conterem ácidos graxos que dificultam a adesão química com o adesivo. Em contrapartida, quanto maior o teor de lignina maior será a chance de uma adesão química mais resistente entre o adesivo e madeira.

Lau (2017) estudou 2 espécies para a produção de painéis EGP, e, dentre elas, *Pinus taeda*. A autora encontrou valores semelhantes ao descrito nesta pesquisa: 1,96% de solubilidade em água fria; 3,03% de solubilidade em água quente; 9,22% de solubilidade em NaOH; 4,85% de extrativos totais; 0,25% de cinzas e 31,87 de lignina.

Trianoski *et al.* (2016) estudaram a incorporação de *Grevillea robusta* na produção de painéis aglomerados de *Pinus* e encontraram, para a espécie de *Pinus taeda*, valores para solubilidade em água fria igual a 1,45% e água quente igual a 2,90% para os extrativos em etanol-tolueno e totais igual a 2,86% e 3,34%, respectivamente, e 0,28% para cinzas.

Junior (2016), avaliando a qualidade de cinco espécies de *Pinus* destinada à produção de celulose, obteve para o teor de extrativos totais e lignina valores iguais a 2,32% e 27,60% para a espécie *Pinus taeda*.

Fonte (2014) obteve para a espécie florestal *Tectona grandis* valores médios para os teores de extrativos em: água fria igual a 3,61%, água quente igual a 4,97%, NaOH igual a 15,42%, etanol-tolueno igual a 5,25%, totais iguais a 8,27% e para o teor de cinzas e lignina, valores de 0,49% e 33,97%, respectivamente.

Bortoleto Jr. (1999) encontrou para a *Pinus taeda* valores de extrativos totais de 3,30%, teor de lignina de 27,10%; Klock (2000) extrativos totais de 3,03%, teor de lignina de 28,76% e materiais inorgânicos de 0,17%; teor de extrativos totais entre 2,15% a 2,40%, teor de lignina de 26,55% a 28,87% e materiais inorgânicos no

intervalo de 0,23% a 0,28% (ANDRADE, 2006); teor de extrativos totais de 7,37%, teor de lignina de 29,34% e materiais inorgânicos de 0,30% (TRIANOSKI, 2010).

Moreira *et al.* (2016), estudando a variação dos teores de extrativos em três espécies florestais, encontrou para a espécie *Tectona grandis* valores para os extrativos em água fria para o cerne igual a 3,83% e alburno igual a 2,17%. Assim, obteve valores para o extrativo em água quente para o cerne igual a 8,52% e alburno igual a 6,21%, e para a solubilidade em hidróxido de sódio igual a 20,37% para o cerne e alburno com valor igual a 15,14%, sendo esses valores compatíveis com o presente estudo.

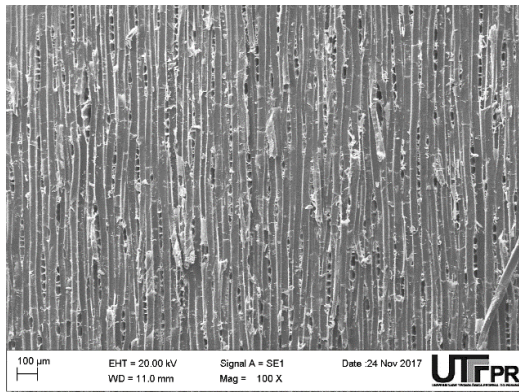
Florez (2012) caracterizou a madeira jovem de *Tectona grandis* e encontrou os seguintes valores médios para extrativos torais, lignina e cinzas: 8,94%, 32,47% e 0,64%, sendo esses valores superiores aos encontrados nesta pesquisa – com exceção do teor de cinza.

Nas Figuras 19 são apresentadas as micrografias por MEV das espécies *Pinus taeda* e *Tectona grandis* para as seções tangenciais e radiais.

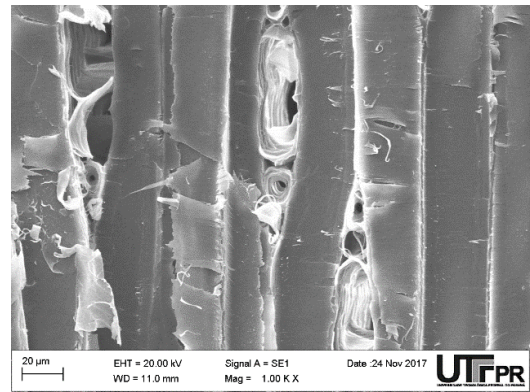
A madeira de *Pinus taeda* apresentou raios unisseriados predominante. Tecido radial heterocelular, de células procumbentes, com uma ou mais fileiras de traqueóides radial marginais e intercalares. Campo de cruzamento com pontoações pinódes.

Para a madeira de *Tectona grandis*, o parênquima radial é listrado de estratificação irregular. As linhas vasculares são retilíneas.

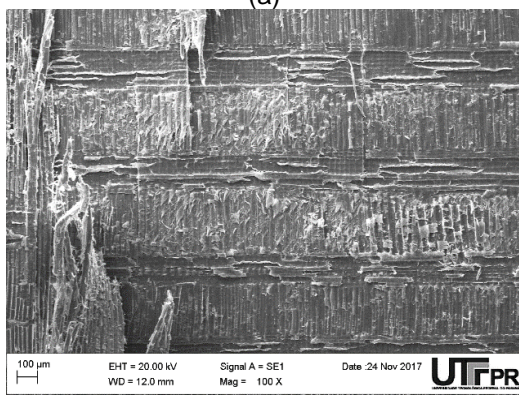
Figura 19 - Micrografias por MEV da madeira de *Pinus taeda* para seção: tangencial (a) e (b) e radial (c) e (d), e da madeira de *Tectona grandis* para seção: tangencial (e) e (f) e radial (g) e (h)



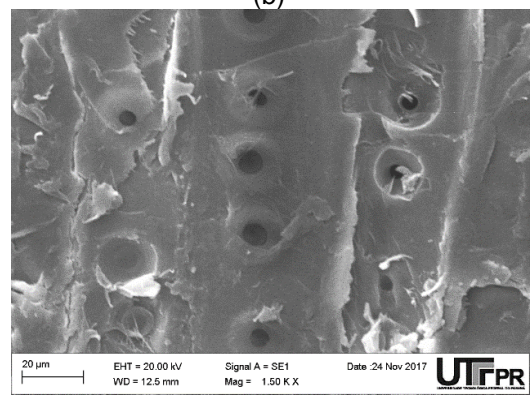
(a)



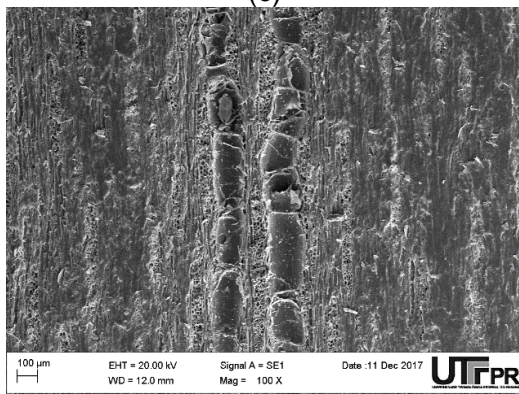
(b)



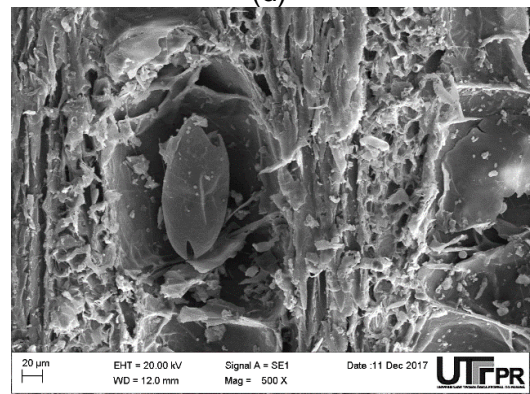
(c)



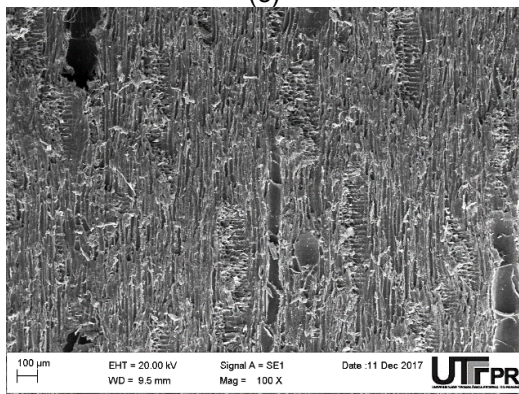
(d)



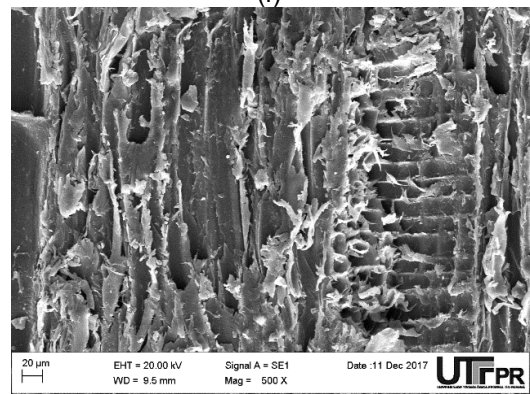
(e)



(f)



(g)



(h)

4.2 Caracterização dos painéis

Para a caracterização dos painéis foi realizado o teste de cisalhamento na linha de cola com o objetivo de estudar o comportamento mecânico dos painéis colados com adesivo poliuretano de mamona em 4 condições e dividido em 3 etapas. Foram obtidas as resistências ao cisalhamento, porcentagem de falha na madeira e imagens de microscopia eletrônica de varredura, MEV, dos corpos de prova após os testes.

4.2.1 Etapa I – Tempo de prensagem

Nessa etapa são apresentadas as 4 condições de ensaio seco, úmido, fervura e ciclo, para a avaliação do tempo de prensagem com o adesivo poliuretano, através do teste de cisalhamento na linha de cola.

Na tabela 5 são apresentados os valores médios e o 5º percentil inferior das resistências ao cisalhamento e a falha na madeira para os pré-tratamentos seco, úmido, fervura e ciclo para os tempos de prensagem 2, 4, 8 e 24 horas com o adesivo PU de mamona.

De acordo com o delineamento experimental, para o tempo de prensagem de 1 hora não foi possível determinar a resistência na linha de cola, pois não se obteve boa aderência durante a confecção dos corpos de prova ou antes da realização dos ensaios mecânicos, apresentando 100% de falha no adesivo para todos os tratamentos.

Os valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento para a condição seco variaram de 2,38 a 9,96 MPa para os painéis colados lateralmente, onde foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas, indicando que houve influência do tempo de prensagem na resistência da linha de cola para tratamento seco.

Quando analisados os valores do 5º percentil inferior, o tempo de prensagem de 2 horas não atingiu o requisito mínimo de 2,5 MPa, para atender à norma EN 13353 (2003), indicando que o entrecruzamento de cadeias não foi máximo, e quando adicionado em câmara climatizada pode ter causado uma reação com a ar, diminuindo a resistência ao cisalhamento (AZEVEDO, 2009).

Tabela 5 – Valores médios da resistência ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira para os pré-tratamentos seco, úmido, ciclo e fervura, com variação no tempo de prensagem

Condição	Tempo de prensagem (h)	Resistência ao cisalhamento (MPa)		Falha	
		Média	5º percentil inferior	madeira (%)	adesivo (%)
Seco	1	-	-	0	100
	2	2,38 c (49,16)	1,38	1	99
	4	8,60 b (12,03)	7,53	99	1
	8	9,53 ab (10,24)	8,34	79	21
	24	9,96 a (10,06)	8,43	83	17
Úmido	1	-	-	0	100
	2	2,97 b (52,28)	1,32	8	92
	4	5,16 a (6,12)	4,31	26	74
	8	5,01 a (13,90)	4,42	30	70
	24	5,47 a (10,15)	5,09	34	66
Fervura	1	-	-	0	100
	2	1,54 c (49,50)	0,74	2	98
	4	4,01 b (15,85)	2,99	27	73
	8	4,93 a (11,88)	4,12	39	61
	24	4,64 ab (5,54)	4,34	36	64
Ciclo	1	-	-	0	100
	2	1,68 b (51,80)	0,56	5	95
	4	4,19 a (14,05)	3,40	35	65
	8	4,85 a (17,09)	3,71	41	59
	24	4,46 a (12,97)	3,76	10	90

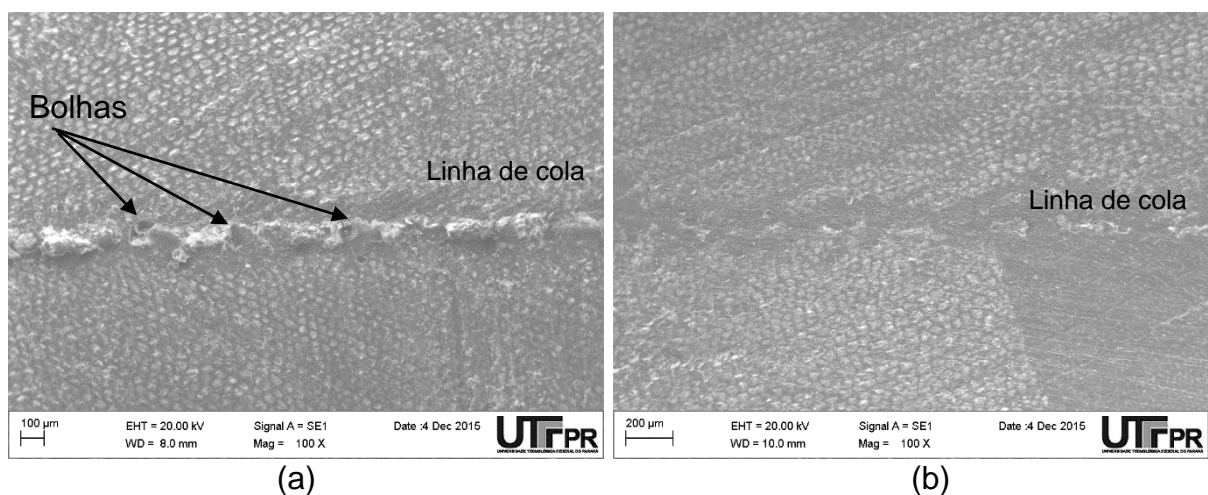
Médias seguidas por mesma letra, dentro do mesmo pré-tratamento não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiabilidade.

Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação em %.

Valores em negrito atendem aos requisitos da norma EN 13353:2003 E (5º percentil \geq 2,5 MPa).

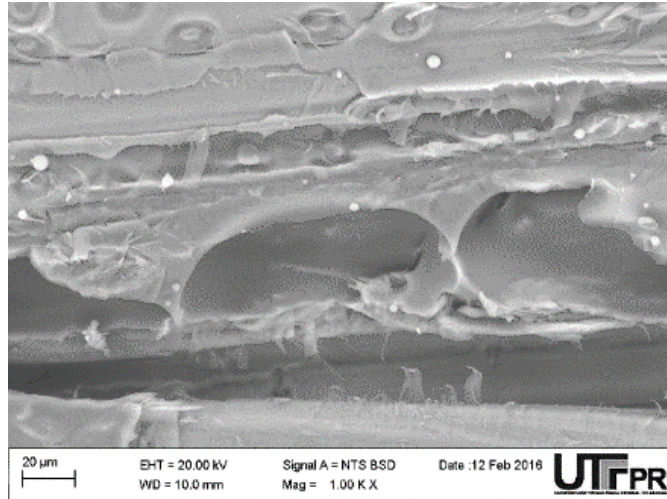
Na Figura 20 são apresentadas as micrografias de MEV das superfícies da linha de cola após a condição seco com o tempo de prensagem de 2 e 4 horas.

Figura 20 - Micrografias por MEV da linha de cola dos painéis de *Pinus taeda*, condição seco, colado com PU na proporção de 1:1 180 g/m² (a) 2 horas de prensagem (b) 4 horas de prensagem

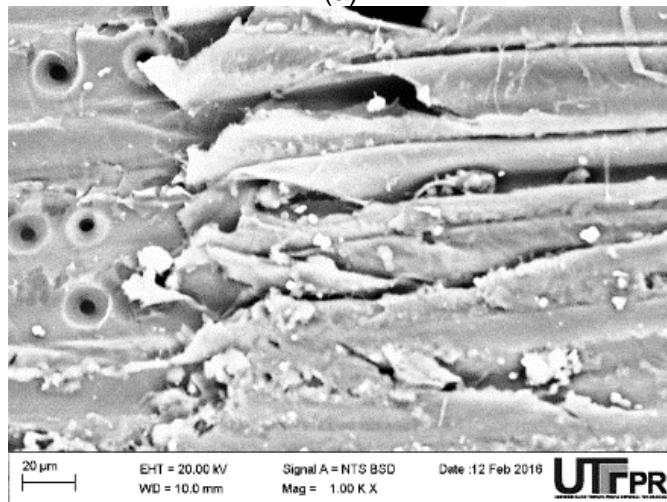


A Figura 21 apresenta micrografia por MEV da falha na madeira para os tempos de prensagem de 4, 8 e 24 horas.

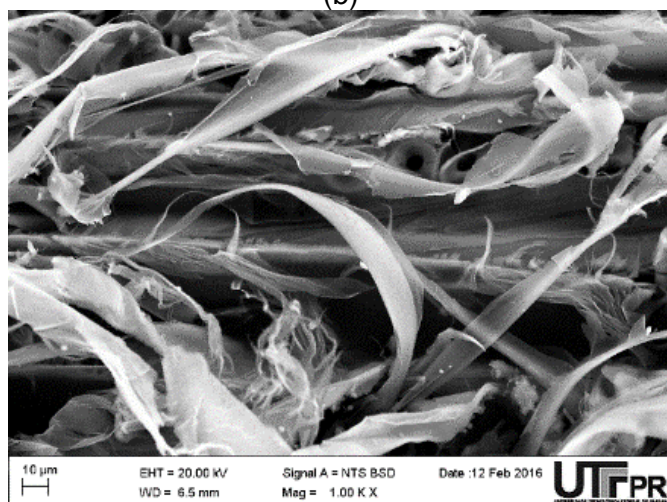
Figura 21 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição seco, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:1 (a) 4 horas, (b) 8 horas, (c) 24 horas de prensagem



(a)



(b)



(c)

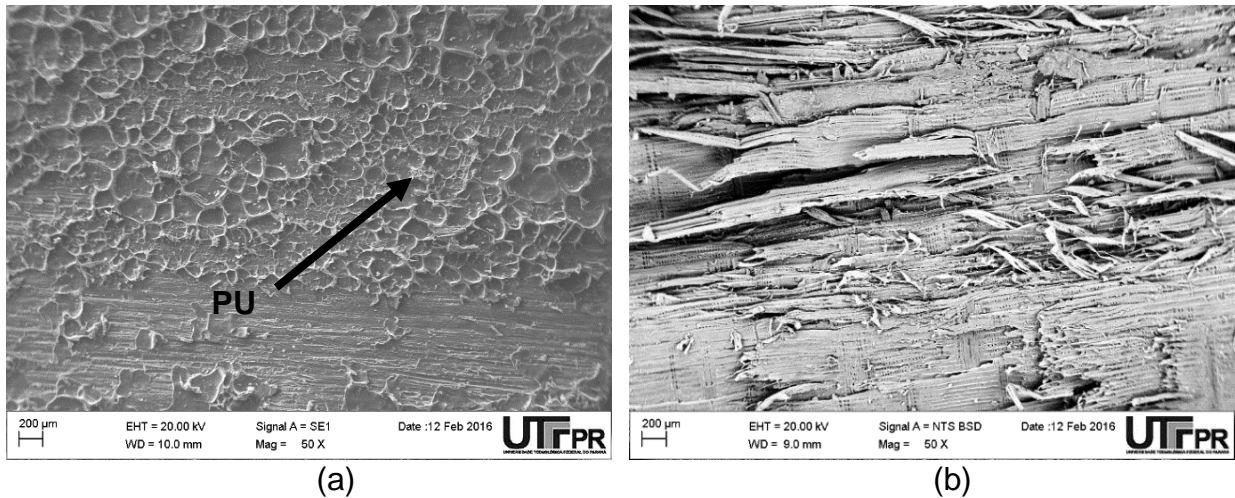
Observa-se que para o tratamento de 2 horas a linha de cola é mais espessa do que o tratamento prensado por 4 horas, Figura 20, ocasionando uma baixa penetração do adesivo e a presença de bolhas na linha de cola, o que resultou em uma linha de cola de baixa resistência e com porcentagem de falha na madeira de apenas 1%, não atendendo à norma EN 13353 (2003), que determina um mínimo de 40% de falha na madeira. A presença de bolhas é inerente ao processo de obtenção da PU (AZEVEDO, 2009), assim, o processo de prensagem deveria eliminar parte das bolhas, porém durante o tratamento em câmara climatizada pode ter ocorrido a formação de mais bolhas, pois a umidade relativa do ar estava em torno de 65% e o NCO livre em contato com a água libera gás carbônico (VILAR, 2004).

Pode-se observar que as fraturas na condição seco ocorreram na madeira, porém apenas para o tempo de prensagem de 4 horas foi observada a presença do adesivo PU dentro das cavidades celulares da madeira, Figura 21, o que pode explicar a alta porcentagem de falha na madeira.

Para a condição úmida houve uma redução na resistência do cisalhamento na linha de cola quando comparado com o seco, pois o adesivo PU é considerado semiestructural, possuindo limitações para uso externo em virtude de sua menor resistência à água em relação aos estruturais. Quando analisada a média da resistência para essa condição, observa-se que após o tempo de 4 horas elas são estatisticamente iguais entre si. E para o 5º percentil inferior, como requisito para o atendimento da norma EN 13353 (EN, 2003), apenas o tempo de prensagem de 2 horas não atendeu à norma.

A Figura 22 apresenta as micrografias por MEV da falha na madeira para os tempos de prensagem de 2 e 4 horas.

Figura 22 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição úmido, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m² (a) 2 horas de prensagem (b) 4 horas de prensagem

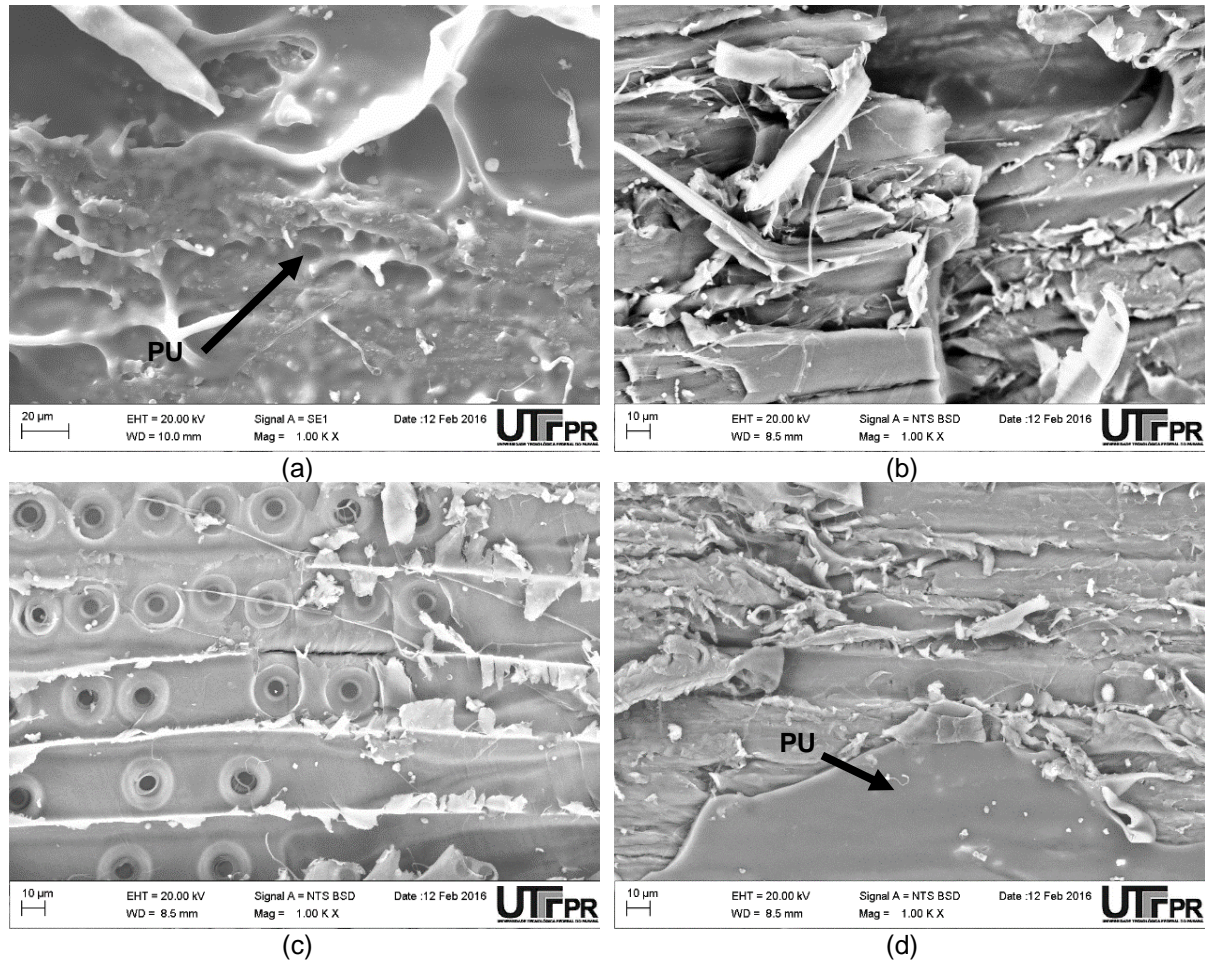


A partir da micrografia da Figura 22 (a), observa-se que ocorreu variação na distribuição do adesivo PU de mamona na parte superficial dos traqueídes da espécie de *Pinus taeda*, para o tempo de prensagem de 2 horas, que obteve apenas 8% de falha na madeira. Quando comparado com o tempo de prensagem de 4 horas, Figura 20 (b), que obteve 26% de falha na madeira, a imagem do MEV apresentou elevadas fraturas na madeira, ocorrendo uma resistência na linha de cola superior ao tempo de 2 horas e promovendo uma excelente aderência.

A Figura 23 apresenta as micrografias por MEV da falha na madeira, para os tempos de prensagem de 2,4, 8 e 24 horas para a condição úmido.

Quando analisadas as imagens do MEV para o tratamento úmido, observa-se que as fraturas para os tempos de prensagens de 4, 8 e 24 horas, Figuras 23 (b-d), ocorreram na madeira, o que é evidenciado pela porcentagem de falha na madeira de 26%, 30% e 34%, respectivamente, porém para o tempo de tratamento de 24 horas a fraturas ocorreu também no adesivo, conforme mostra a figura 23 (d). Para o tempo de 2 horas, Figura 23 (a), a fratura ocorreu apenas no adesivo, obtendo porcentagem de falha na madeira igual a 8%. Na Figura 23 (c), são mostrados pontoações areolados nas extremidades das traqueídes longitudinais.

Figura 23 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição úmido, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:1 (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem

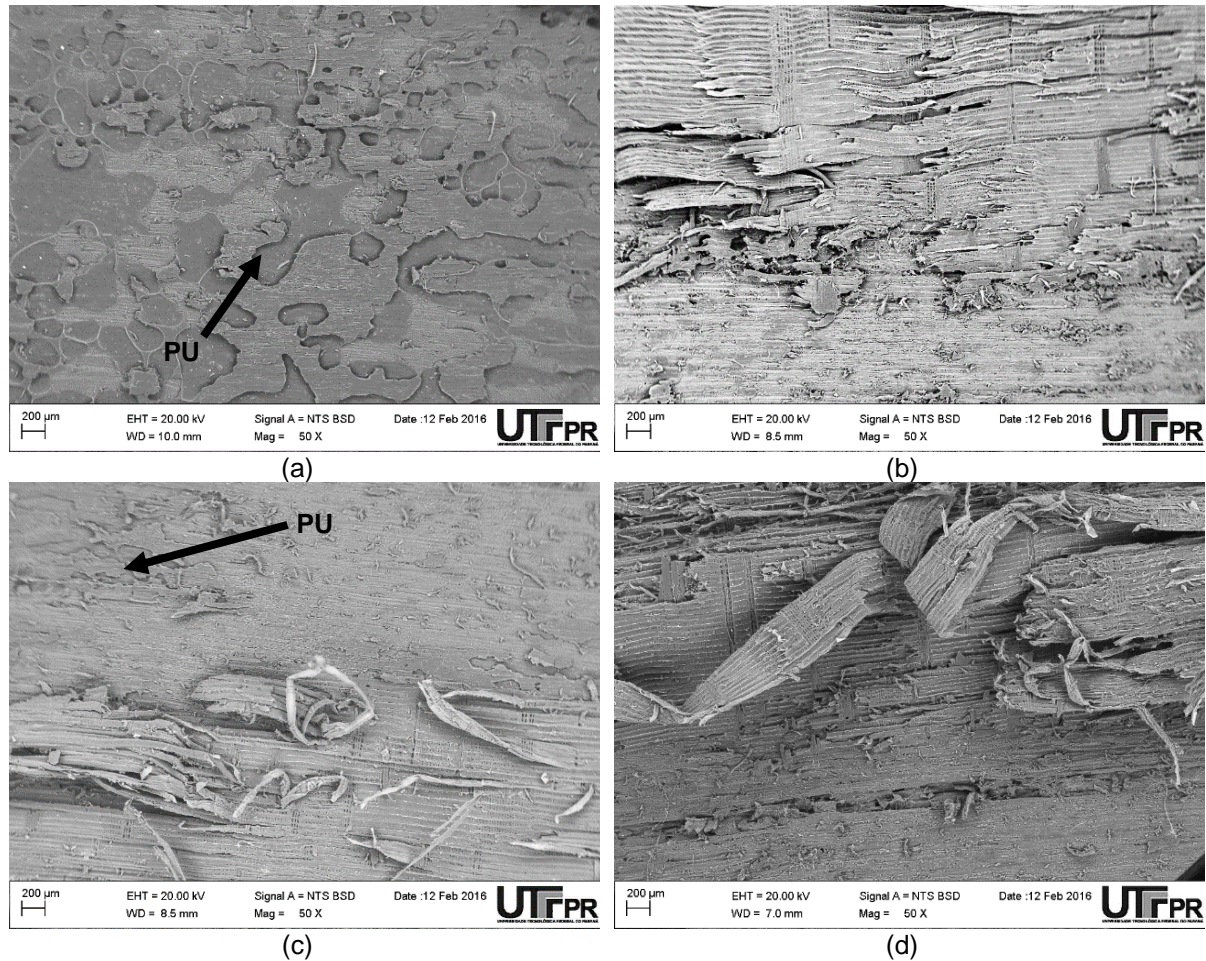


Para o tratamento fervura, o maior valor médio de resistência ao cisalhamento foi para o tempo de prensagem de 8 horas, 4,93 MPa e o menor valor médio de resistência ao cisalhamento foi para o tempo de 2 horas, 1,54 MPa, o qual apresentou baixo desempenho de colagem. No entanto, verifica-se que o tempo de prensagem de 4 horas é estatisticamente igual ao tempo de prensagem de 24 horas, indicando que este tempo pode ser adotado com segurança na prensagem dos painéis e aprovado pela norma de referência para uso em condições úmidas, pelo fato de o 5º percentil ser superior a 2,5MPa.

O único teste que não atendeu aos requisitos da norma EN 13353 (2003) para o 5º percentil $\geq 2,5$ MPa foi para o de 2 horas de prensagem, com valor igual a 0,74 MPa, e com falha na madeira de 2%, evidenciando o efeito negativo de condições de umidade e temperatura sobre as amostras.

A Figura 24 apresenta as micrografias por MEV da falha na madeira, para os tempos de prensagem de 2,4, 8 e 24 horas na condição fervura.

Figura 24 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição fervura, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m² (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem



Analisando a Figura 24 (a), para a condição de fervura e tratamento de 2 horas de prensagem, observa-se que o adesivo não obteve uma boa aderência na madeira, ocasionando a menor porcentagem de falha na madeira para este tratamento, igual a 2%. Quando comparadas com os outros tempos de prensagem, Figuras 24 (b-d), as fraturas ocorreram na fibra da madeira, obtendo valores para a falha na madeira superiores para os tempos de 4, 8 e 24 horas, sendo eles 27%, 39% e 36%, respectivamente.

Para a condição ciclo, os tempos de prensagem após 4 horas apresentaram maior valor médio de resistência ao cisalhamento, variando de 4,19 a 4,85 MPa, e para o percentil inferior entre 3,40 a 3,76 MPa, indicando que os painéis podem ser utilizados em ambientes externos, atendendo à referência à norma EN 13354 (2003), quando analisados o 5º percentil inferior, que foi superior a 2,5 MPa. Observa-se que não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre as resistências ao cisalhamento para os tempos de prensagem 4, 8 e 24 horas.

As juntas coladas com o tempo de prensagem de 2 horas apresentaram o menor valor médio do cisalhamento na linha de cola e percentil inferior (1,68 e 0,56 MPa), e também um maior coeficiente de variação igual a 51,80%, não atendendo aos pré-requisitos da norma EN 13353 (2003).

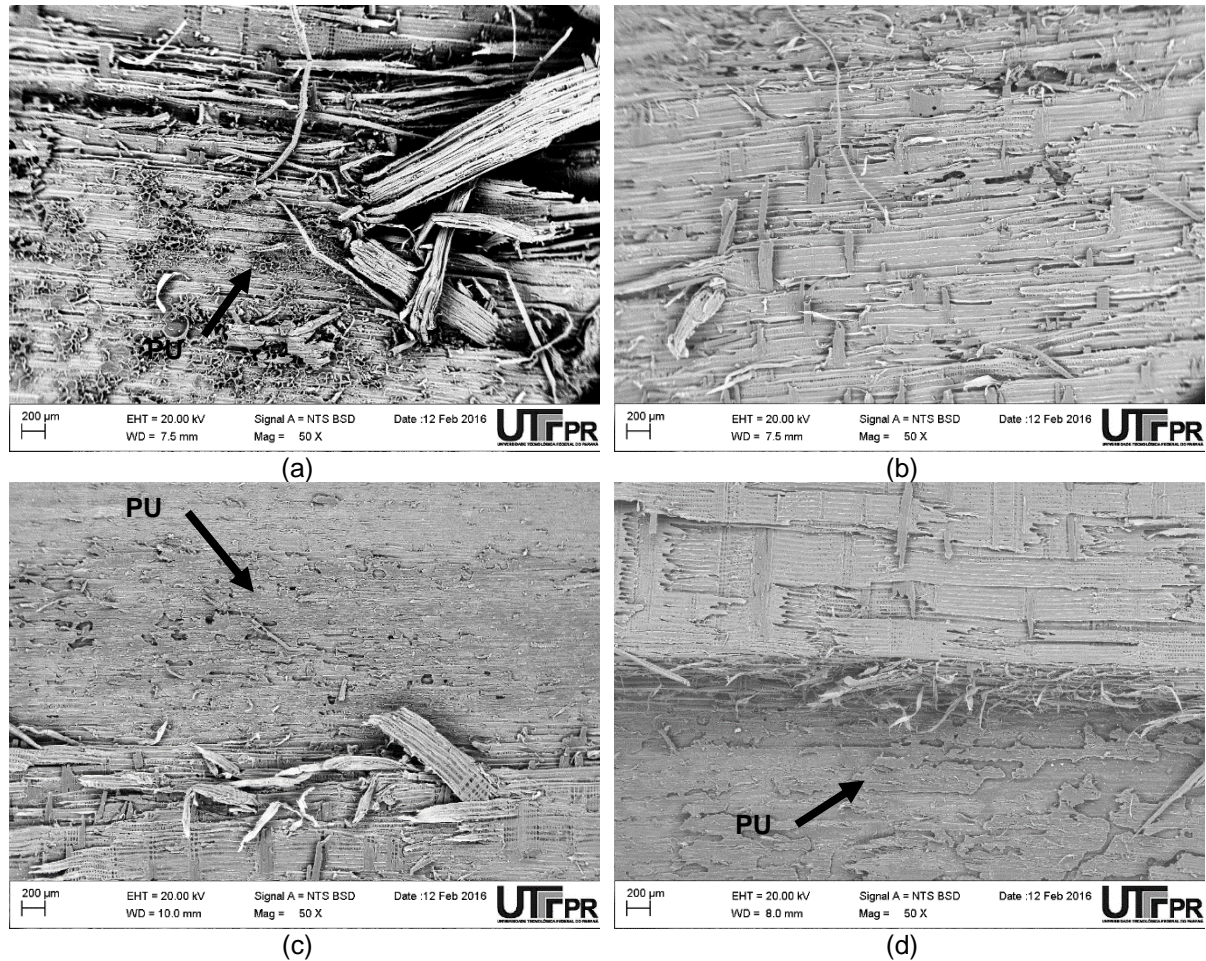
Carvalho *et al.* (2014), caracterizando a PU de mamona termicamente, observaram que houve um aumento na rigidez do poliuretano exposto à temperatura de 90°C por 24 horas, devido ao aumento do valor do módulo de elasticidade de armazenamento, acompanhado de um aumento na temperatura de transição vítrea. Essa mudança é característica de um aumento do grau de polimerização, que está relacionado a um aumento do entrecruzamento da estrutura molecular. O que justifica a resistência ao cisalhamento da junta colada após a condição ciclo.

A Figura 25 apresenta as micrografias por MEV da falha na madeira, para os tempos de prensagem de 2, 4, 8 e 24 horas na condição ciclo.

A distribuição do adesivo nos diferentes tempos de prensagem foi diferenciada quando analisadas as micrografias por MEV, Figura 25, mesmo utilizando a mesma forma e cuidados na distribuição do adesivo nos diferentes tratamentos. O tempo de prensagem de 2 horas após o tratamento ciclo apresentou um aspecto de rugosidade no adesivo, o que pode ser explicado pela baixa porcentagem de falha na madeira (5%) após o teste de cisalhamento. Para os tempos de 4 e 8 horas, as porcentagens de falhas na madeira foram próximas, obtendo 35% e 41%, porém apresentaram superfícies diferentes, sendo que o tempo de 4 horas apresentou apenas falha na madeira, e para o tempo de 8 horas uma parte de falha na madeira e outra no adesivo, sendo possível observar pequenas fraturas que serviram para aumentar a porcentagem de falha na madeira para este tratamento. O tempo de 24 horas apresentou comportamento similar ao de 8 horas, porém não apresentou as pequenas fraturas no adesivo, o que diminuiu a porcentagem de falha para 10%.

O tempo de prensagem de 2 horas apresentou maiores coeficientes de variação em todos os tratamentos e os demais tempos apresentaram coeficiente de variação entre 5,54% até 17,09%, o que indica boa homogeneidade das amostras após 4 horas de prensagem.

Figura 25 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição ciclo, colado com PU na proporção de 1:1 - 180 g/m² (a) 2 horas, (b) 4 horas, (c) 8 horas e (d) 24 horas de prensagem



Ao analisar todos os tratamentos em relação ao tempo de prensagem, as juntas coladas com 4 horas de prensagem apresentaram resistência ao cisalhamento estatisticamente iguais entre si, para os tratamentos seco, úmido e ciclo, com exceção apenas do tratamento de fervura, quando comparado o tempo de prensagem de 8 horas, o que mostra que é desnecessária a permanência do substrato pelo do dobro do tempo sob pressão, ou até 6 vezes mais quando o tempo de prensagem é de 24 horas, o que implica diretamente produtividade e consumo de energia, itens de alto custo no processo produtivo dos painéis colados lateralmente.

O tempo de prensagem de 2 horas foi considerado para os testes com variação da relação de pré-polímero e polioli, pois esta variação acarreta alterações nas propriedades mecânicas (SALVADOR, 2010) e de adesão da junta colada (FAVARO, 2004).

4.2.2 Etapa II – Variação de proporção de pré-polímero e polioli

Nessa etapa são apresentadas as 4 condições de ensaio para a avaliação do tempo de prensagem com o adesivo PU de mamona, juntamente com a variação na proporção de pré-polímero e polioli através do teste de cisalhamento na linha de cola.

Na tabela 6 são apresentados os resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola para as condições seco, úmido, fervura e ciclo com variação de pré-polímero e polioli com o tempo de prensagem.

Tabela 6 – Resultados médios das resistências ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira entre proporções de pré-polímero e polioli

Condição	Tempo de prensagem (h)	Proporção NCO/OH	Resistência ao cisalhamento (MPa)		Falha (%)	
			Média	5º percentil inferior	Madeira	Adesivo
Seco	2	1:0,7	2,18 c (59,31)	0,33	0	100
		<u>1:1*</u>	<u>2,38 c (49,16)</u>	<u>1,38</u>	<u>1</u>	<u>99</u>
		1:1,3	6,16 b (8,05)	5,68	2	98
	4	1:0,7	9,55 a (15,87)	7,25	82	18
		<u>1:1*</u>	<u>8,60 a (12,03)</u>	7,53	<u>99</u>	<u>1</u>
		1:1,3	8,03 ab (14,88)	6,19	35	65
Úmido	2	1:0,7	2,37 d (57,10)	0,75	0	100
		<u>1:1*</u>	<u>2,97 cd (52,28)</u>	<u>1,32</u>	<u>8</u>	<u>92</u>
		1:1,3	3,59 bcd (5,69)	3,34	1	99
	4	1:0,7	4,53 ab (21,12)	3,21	30	70
		<u>1:1*</u>	<u>5,16 a (6,12)</u>	4,31	<u>26</u>	<u>74</u>
		1:1,3	3,86 abc(15,47)	2,99	4	96
Fervura	2	1:0,7	1,65 c (37,41)	0,85	0	100
		<u>1:1*</u>	<u>1,54 c (49,50)</u>	<u>0,74</u>	<u>2</u>	<u>98</u>
		1:1,3	-	-	-	-
	4	1:0,7	5,12 a (9,85)	4,48	53	47
		<u>1:1*</u>	<u>4,01 ab (15,85)</u>	2,99	<u>27</u>	<u>73</u>
		1:1,3	3,71 b (20,09)	2,85	4	96
Ciclo	2	1:0,7	1,31 c (48,51)	0,61	0	100
		<u>1:1*</u>	<u>1,68 bc (51,80)</u>	<u>0,56</u>	<u>5</u>	<u>95</u>
		1:1,3	-	-	-	-
	4	1:0,7	<u>4,35 a (15,16)</u>	3,60	42	58
		<u>1:1*</u>	<u>4,19 a (14,05)</u>	3,40	<u>35</u>	<u>65</u>
		1:1,3	<u>2,52 b (27,03)</u>	1,90	0	100

Médias seguidas por mesma letra em cada tratamento e dentro do tempo de prensagem não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiabilidade. Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação, em %. Valores em negrito atendem aos requisitos da norma EN 13353:2003 E (5º percentil \geq 2,5 MPa).

* Valores sublinhados são referentes à ETAPA I.

Observa-se que, para o tempo de prensagem de 2 horas, apenas uma proporção de pré-polímero e polioliol atendeu à norma, sendo que o maior valor médio da resistência ao cisalhamento na linha de cola foi para a proporção de 1:1,3, igual a 6,16 MPa e o 5º percentil inferior foi de 5,68 MPa, valor superior ao exigido da norma EN 13354 (2003). Constata-se, desta forma, que o tempo de prensagem de 2 horas e proporção 1:0,7 de pré-polímero e polioliol é insuficiente para que a colagem lateral atenda às normas EN 13353 (2003).

Alterando a proporção de pré-polímero e polioliol na preparação do adesivo PU, para a condição seca foi possível atingir o requisito mínimo da norma EN 13353 (2003) para o tempo de 2 horas, utilizando 0,3 vezes mais polioliol durante a preparação do adesivo. Quanto maior a proporção de polioliol, mais viscoso será o adesivo, pois está com excesso de OH, deixando-o mais rígido em um tempo menor.

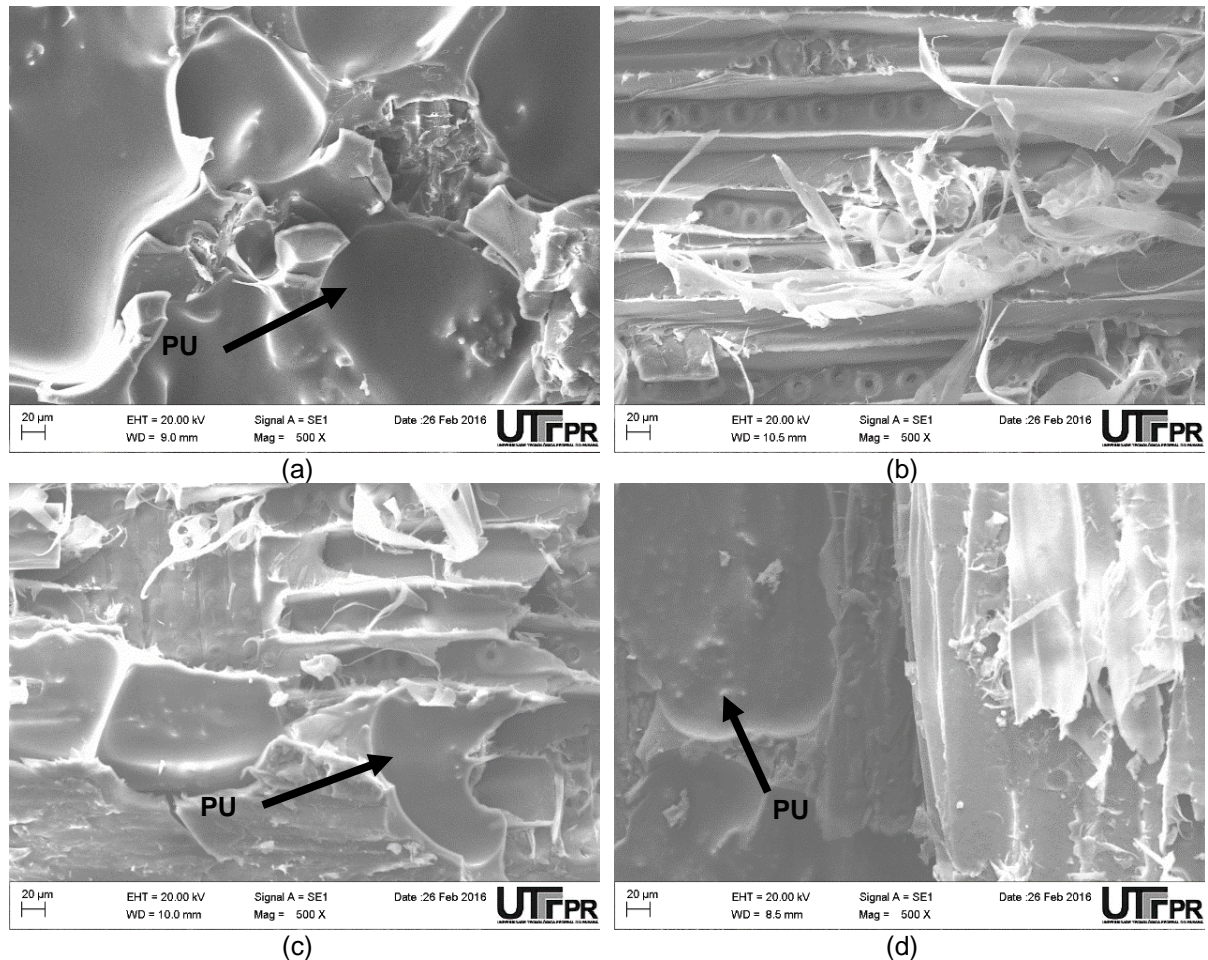
Quando avaliado o tempo de prensagem de 4 horas, para a condição seca, todas as proporções de polioliol e pré-polímero atenderam à norma EN 13353 (2003), sendo observados valores para o 5º percentil inferior, maiores que 2,5 MPa e com variação de 6,19 a 7,53 MPa, os quais são estatisticamente iguais entre si.

Bianche (2014), estudando o adesivo poliuretano de mamona bicomponente com proporção de polioliol e pré-polímero de 1,5:1, encontrou valor igual a 4,24 MPa para o teste de cisalhamento na linha de cola com a condição seca e para o tratamento úmido obteve 3,12 MPa, utilizando a espécie de pinus, com 200 g/m² de adesivo e tempo de prensagem de 24 horas.

A Figura 26 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição seca, com variação de pré-polímero e polioliol dos tempos de prensagem de 2 e 4 horas.

O percentual de falha na madeira no tratamento seco das juntas coladas com o adesivo PU para o tempo de 2 horas obteve valores entre 0 a 2%, e para o tempo de prensagem de 4 horas de 35 a 99%. Analisando as imagens para a proporção de 1:0,7 com 2 horas de prensagem e 1:1,3 com 2 e 4 horas de prensagem observou-se que ambas apresentaram a presença de bolhas, Figura 26. Essas bolhas de ar provavelmente foram introduzidas durante a agitação da mistura do polioliol e pré-polímero para se obter o poliuretano. Quando espalhado o adesivo sobre a superfície da madeira, essas bolhas de ar presentes na mistura ficaram retidas durante o intercruzamento das cadeias.

Figura 26 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição seco, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem



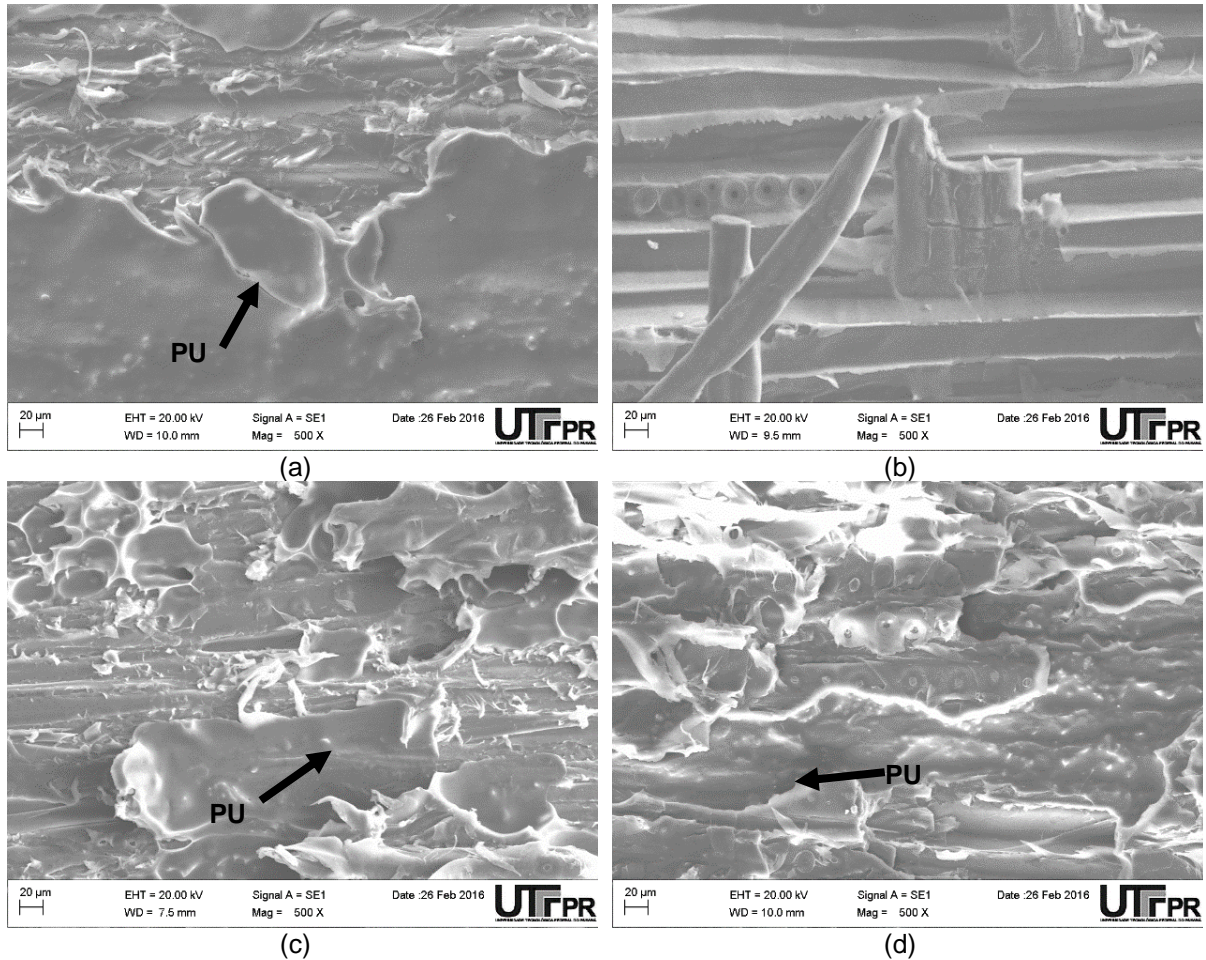
Os valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento para a condição úmido variaram de 2,37 a 5,16 MPa para os painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente, sendo que foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as médias obtidas, indicando que houve influência da proporção de polioli e pré-polímero na resistência da linha de cola para o tratamento úmido.

Para o tempo de prensagem de 2 horas a proporção de 1:1,3 de pré-polímero e polioli obteve valores para o 5º percentil igual a 3,34 MPa, resultado superior ao exigido pela norma, classificando esta composição do adesivo para colagem em painéis de madeira para condições internas.

Todos os tratamentos com 4 horas de prensagem obtiveram valores acima de 2,5 MPa para o 5º percentil inferior, obtendo valores mínimos exigido para norma EN 13353 (2003).

A Figura 27 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição úmido, com variação de pré-polímero e polioliol com o tempo de prensagem.

Figura 27 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição úmido, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem



Quando analisadas as micrografias por MEV, que para o tempo de 2 horas – mesmo alterando a proporção de NCO/OH do adesivo – não há uma boa adesão do adesivo PU na parede da madeira, o que fragiliza a linha de cola e proporciona menores valores de falha na madeira para este tempo, Figura 27 (a) e (c). O tempo de prensagem de 4 horas e proporção 1:1,3 apresentou 96% de falha no adesivo, sendo justificado pela maior concentração de OH no adesivo, o que não contribuiu para que o NCO se ligasse com o OH da madeira, deixando-o com uma boa coesão e uma baixa adesão do adesivo PU – e também pela alta reatividade dos componentes

do pré-polímero com o polioliol, acelerando a reação e deixando a aplicação do adesivo PU na madeira com dificuldade.

De acordo com o delineamento experimental, para o tempo de prensagem de 2 horas com proporção de 1:1,3, não foi possível determinar a resistência na linha de cola para as condições de fervura e ciclo, pois não se obteve boa aderência durante a confecção dos corpos de prova ou antes da realização dos ensaios mecânicos.

Os valores médios de resistência da linha de cola ao cisalhamento para a condição fervura variaram de 1,54 a 5,12 MPa para os painéis colados lateralmente de *Pinus taeda*. Todos os tratamentos com 4 horas de prensagem obtiveram valores acima de 2,5 MPa para o 5º percentil inferior. A proporção que obteve maior 5º percentil médio foi para 1:0,7 de pré-polímero e polioliol com 4,48 MPa.

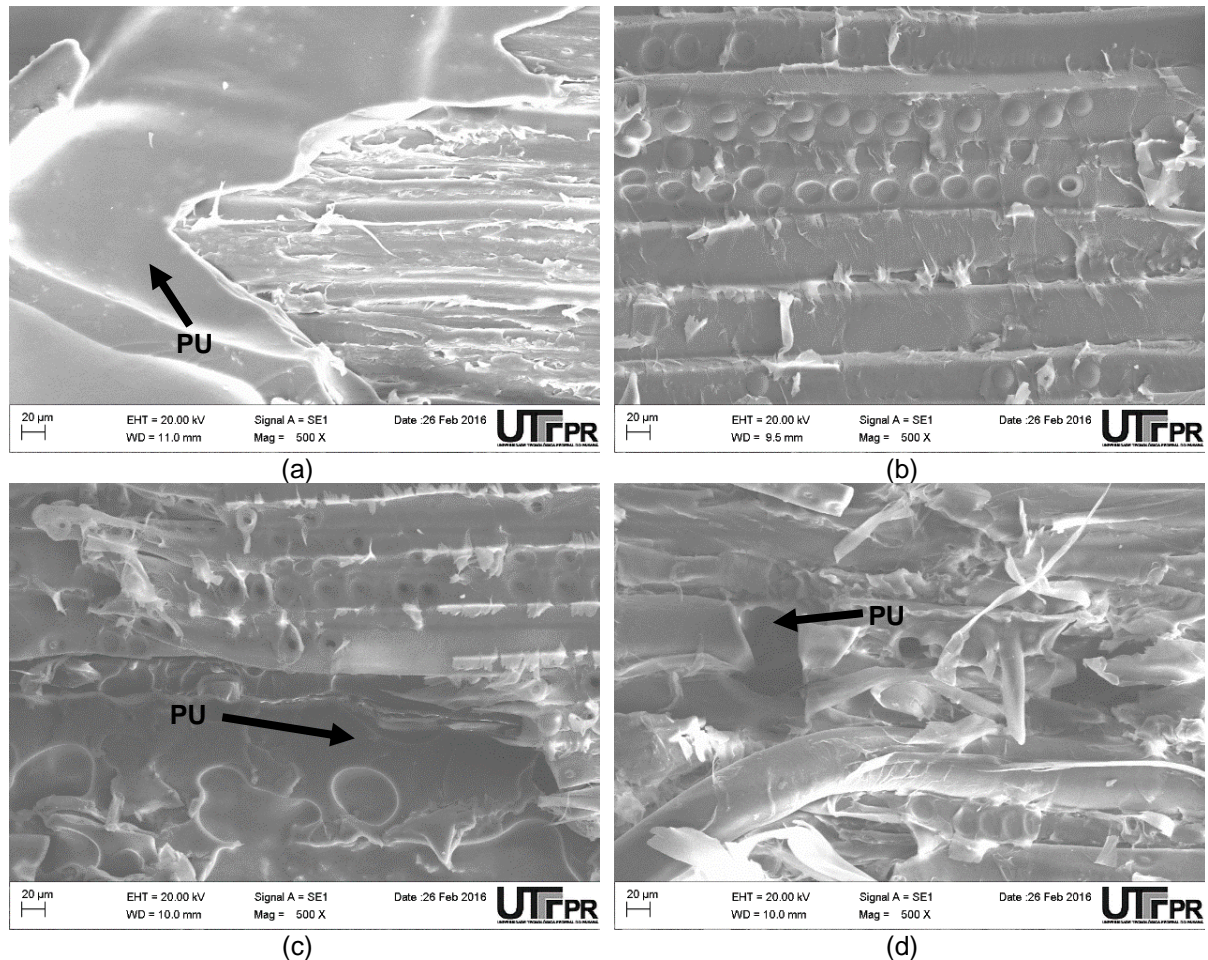
A Figura 28 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para o tratamento fervura, com variação de pré-polímero e polioliol com o tempo de prensagem.

As porcentagens de falha na madeira para tratamento fervura variaram de 2 a 53%, sendo que o maior valor ficou para o tratamento com a proporção de 1:0,7 (pré-polímero e polioliol) e 4 horas de prensagem, que pode ser explicado pela maior disponibilidade NCO que teve 4 horas para reagir com o OH da madeira.

Favaro (2004), caracterizando o adesivo poliuretano, observou que a medida que diminui a quantidade de polioliol no polímero a temperatura de transição vítrea, T_g , aumenta, ou seja, após o adesivo atingir a sua T_g , as moléculas amorfas podem se movimentar, permitindo um arranjo aleatório, o que pode ter ocorrido quando os corpos de prova foram submetidos para o tratamento fervura. O adesivo sofreu um rearranjo na linha de cola, ocasionando uma perda de resistência para a proporção 1:1,3 quando comparado com a proporção 1:0,7, fato este observado na tabela 6.

Segundo Carvalho *et al.* (2014), a temperatura da transição vítrea do adesivo PU é de 56,13 °C, e como a condição de fervura que consiste em deixar os corpos de prova submergidos em água fervente, contribuiu para que o adesivo PU de mamona sofresse alterações pois foi submetido à temperatura maior que a sua T_g , alterando suas propriedades mecânicas e diminuindo a resistência mecânica.

Figura 28 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, condição fervura, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem



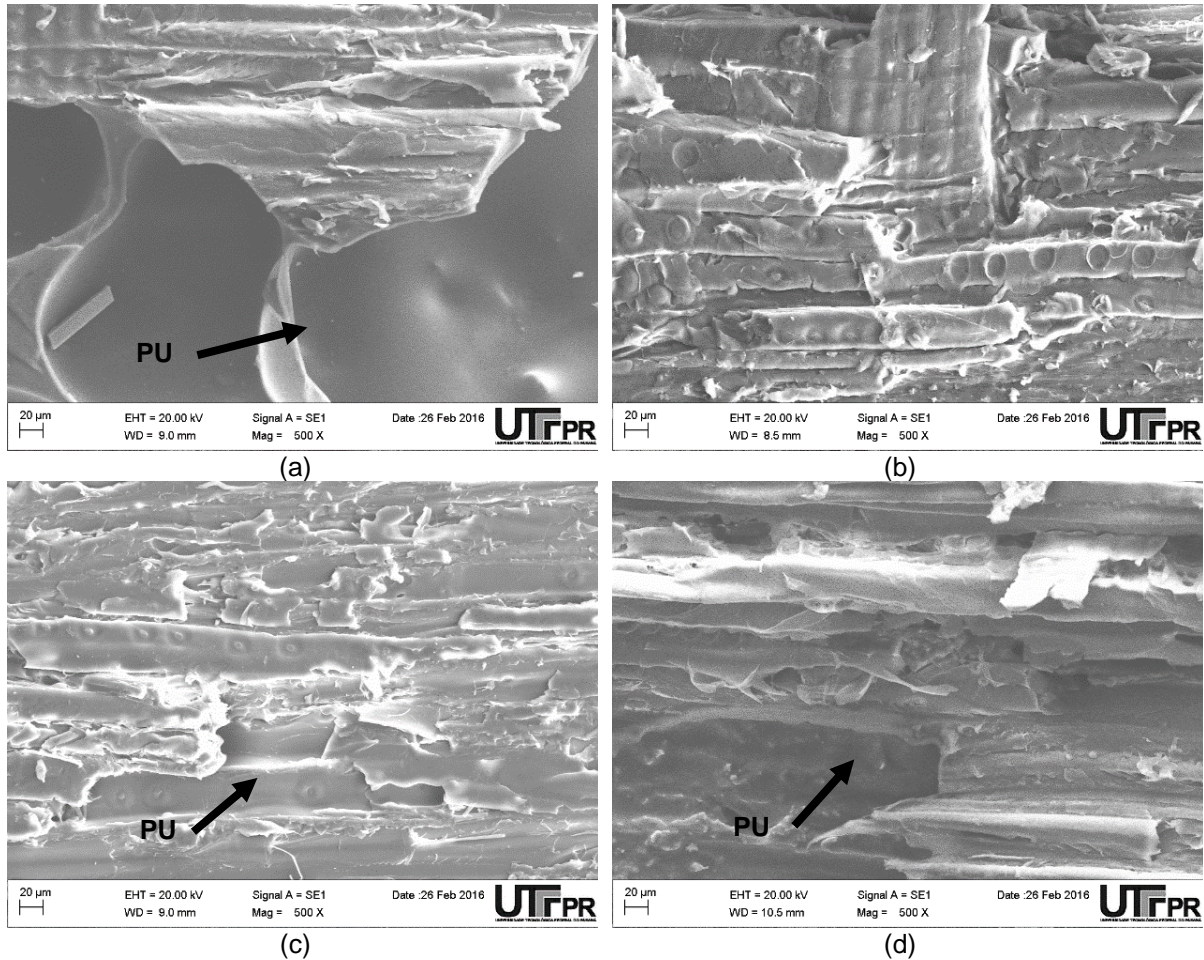
Após a condição do ciclo, nenhuma das proporções com o tempo de prensagem de 2 horas atingiu o mínimo de 2,5 MPa para o 5º percentil inferior e 40% de falha na madeira. As proporções que atingiram os requisitos da norma EN 13353 (2003) para o 5º percentil inferior foram de 1:1 (3,40 MPa) e 1:0,7 (3,60 MPa), não sendo constatadas diferenças estatísticas significativas entre esses dois tratamentos.

A Figura 29 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição ciclo, com variação de pré-polímero e polioliol com o tempo de prensagem.

A distribuição do adesivo PU foi diferenciada nas proporções e tempos de prensagem, mesmo aplicada da mesma forma em todos os tratamentos. Para a proporção de 1:0,7 e 2 horas de prensagem, observou-se uma camada mais espessa sobre a parede celular (Figura 29-a), onde este tratamento obteve 0% de porcentagem na madeira. Quando comparada com a proporção de 1:1,3 e tempo de prensagem de

4 horas que também obteve valor igual a 0% para a porcentagem de falha na madeira, a imagem apresenta microfaturas na madeira, porém não visualizadas durante a análise da porcentagem de falhas na madeira por serem muito pequenas.

Figura 29 - Micrografias por MEV de painel de *Pinus taeda*, tratamento ciclo, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7 (a) 2 horas de prensagem e (b) 4 horas de prensagem, 1:1,3 (c) 2 horas de prensagem e (d) 4 horas de prensagem



A proporção que obteve maior valor para a porcentagem de falha na madeira foi para 1:0,7 com tempo de 4 horas de prensagem, atingindo os pré-requisitos da norma EN 13353 (2003).

Ao analisar todos os tratamentos, as juntas coladas com tempo de 4 horas e proporção de 1:0,7 de polioli e pré-polímero apresentaram resistência ao cisalhamento do 5º percentil, superior ao valor mínimo que a norma exige, mostrando que é desnecessária a adição de uma maior concentração de pré-polímero para a colagem lateral de painéis de *Pinus taeda*, o que implica diretamente custo do adesivo.

4.2.3 Etapa III – Gramatura

Na tabela 7 são apresentados os resultados do ensaio de cisalhamento na linha de cola para a condição seco, úmido, fervura e ciclo, para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, com variação de gramatura do adesivo PU e comparados com os adesivos PVAc e EPI.

Para a condição seco, a gramatura que apresentou o melhor resultado médio de resistência ao cisalhamento para os painéis colados lateralmente com a espécie *Pinus taeda* e adesivo poliuretano foi a de 140 g/m², com 10,0 MPa, e a gramatura que apresentou o menor resultado foi a gramatura de 120 g/m² (8,55 MPa), porém todas as gramaturas atenderam à norma EN 13353 (2003), podendo utilizar uma menor quantidade de adesivo, acarretando diminuição de custos. Quando comparados entre os adesivos, as juntas coladas com o EPI apresentaram valores superiores (10,90 MPa) ao adesivo PU, porém não foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os adesivos.

Para os painéis produzidos com a espécie florestal *Tectona grandis*, a gramatura que apresentou maior resultado médio para o adesivo PU foi a de 180 g/m² (11,47 MPa) e a menor foi a gramatura de 140 g/m² (7,88 MPa), onde foram encontradas apenas diferenças estatísticas nesses dois tratamentos, porém todas as gramaturas atenderam à norma EN 13353 (2003), podendo utilizar uma menor quantidade de adesivo, acarretando diminuição de custos. Quando realizada comparação entre os adesivos, a junta colada com o PU apresentou valor médio de cisalhamento na linha de cola superior aos adesivos EPI (9,01 MPa) e PVA D3 (10,15 MPa).

Segundo a norma 13353 (2003), todas as gramaturas para as duas espécies e para o adesivo PU, PVA D3 e EPI, atingiram o requisito mínimo de 2,5 MPa.

A figura 30 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição seco, para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

Tabela 7 – Resultados médios das resistências ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira com variação na gramatura nas espécies *Pinus taeda* e *Tectona grandis*

Tratamento	Espécie de madeira	Adesivo	Gramatura (g/m ²)	Resistência ao cisalhamento (MPa)		Falha (%)	
				Média	5º percentil inferior	Madeira	Adesivo
Seco	<i>Pinus taeda</i>	PU (1:0,7)	120	8,55 a (24,98)	5,17	40	60
			140	10,0 a (20,68)	6,60	60	40
		PVAc	160	9,22 a (26,52)	5,68	58	42
			<u>180*</u>	<u>9,55 a (15,87)</u>	<u>7,25</u>	<u>82</u>	<u>18</u>
			180	9,24 a (21,02)	6,38	50	50
	<i>Tectona grandis</i>	EPI	180	10,90 a (11,62)	9,04	75	25
			120	10,05 ab(24,80)	6,30	13	87
		PU (1:0,7)	140	7,88 b (47,18)	3,28	3	97
			160	9,14 ab (26,67)	5,58	1	99
			180	11,47 a (22,59)	7,53	11	89
Úmido	<i>Pinus taeda</i>	PU (1:0,7)	120	5,45 ab (13,42)	4,33	28	72
			140	4,99 b (23,40)	3,25	42	58
		PVAc	160	6,07 a (8,33)	5,63	21	79
			<u>180*</u>	<u>4,53 bc (21,12)</u>	<u>3,21</u>	<u>30</u>	<u>70</u>
			180	1,85 d (24,40)	1,11	0	100
	<i>Tectona grandis</i>	EPI	180	3,81 c (24,47)	2,33	6	94
			120	8,10 ab (30,49)	4,70	0	100
		PU (1:0,7)	140	6,84 bc (21,61)	4,74	0	100
			160	9,40 a (29,19)	6,10	0	100
			180	10,43 a (18,04)	7,65	0	100
Fervura	<i>Pinus taeda</i>	PU (1:0,7)	120	3,23 b (21,49)	1,99	33	77
			140	3,46 b (22,53)	2,35	42	58
		EPI	160	3,91 b (16,81)	3,13	26	74
			<u>180*</u>	<u>5,12 a (9,85)</u>	<u>4,48</u>	<u>53</u>	<u>67</u>
			180	2,20 c (15,27)	1,72	1	99
	<i>Tectona grandis</i>	PU (1:0,7)	120	5,13 a (36,79)	2,52	0	100
			140	4,72 a (31,67)	2,60	0	100
		EPI	160	4,70 a (37,21)	2,45	0	100
			180	6,38 a (22,28)	5,04	0	100
			180	1,91 b (76,68)	0,54	0	100
Ciclo	<i>Pinus taeda</i>	PU (1:0,7)	120	3,09 b (37,70)	1,32	5	95
			140	3,86 ab (28,27)	2,30	37	63
		EPI	160	4,53 a (31,55)	2,19	8	92
			<u>180*</u>	<u>4,35 a (15,16)</u>	<u>3,60</u>	<u>42</u>	<u>58</u>
			180	1,91 c (14,36)	1,51	1	99
	<i>Tectona grandis</i>	PU (1:0,7)	120	5,65 a (19,78)	4,15	0	100
			140	5,07 a (39,64)	2,58	0	100
		EPI	160	4,93 a (29,78)	2,65	0	100
			180	4,71 a (45,94)	4,04	0	100
			180	1,36 b (75,59)	0,43	0	100

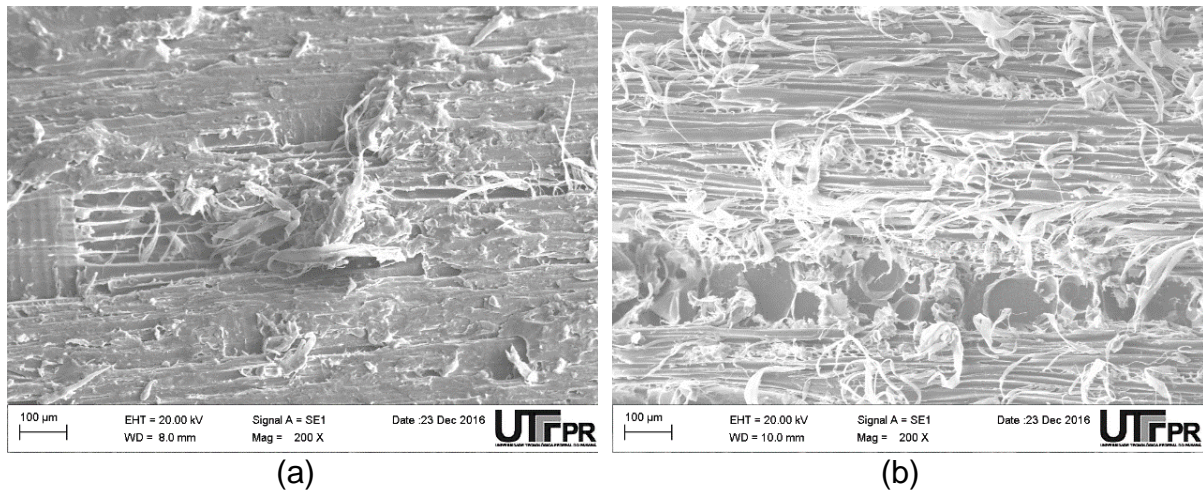
Médias seguidas por mesma letra em cada Espécie de madeira não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 95% de confiabilidade.

Resultados entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação, em %.

Valores em negrito atendem aos requisitos da norma EN 13353:2003 E (5º percentil \geq 2,5 MPa).

*Valores sublinhados referentes à ETAPA II.

Figura 30 - Micrografias por MEV de painel de madeira colado lateralmente, condição seco, colado com PU 120 g/m² com proporção de: 1:0,7, para a espécie: (a) *Pinus taeda* e (b) *Tectona grandis*

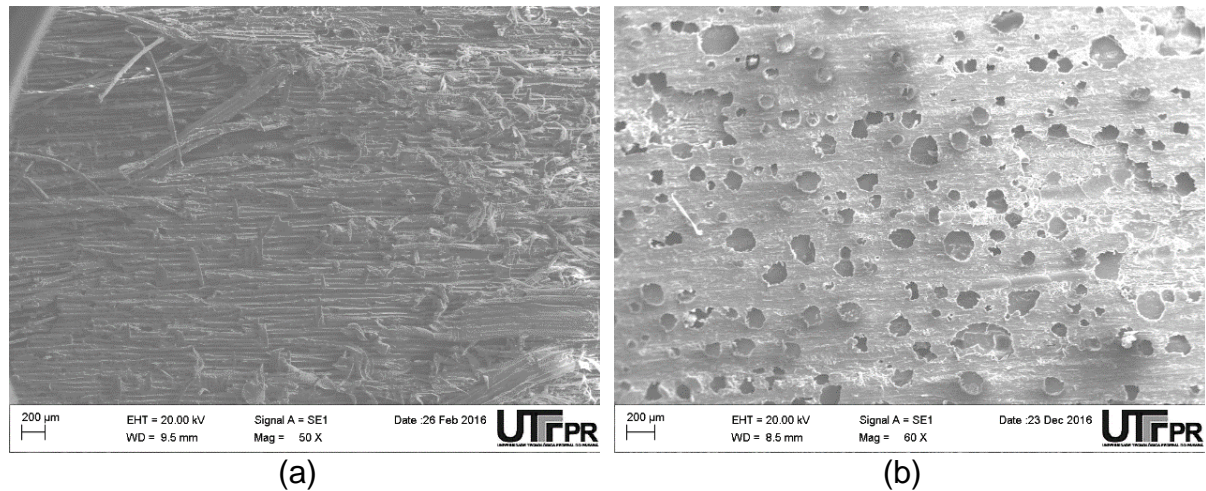


A porcentagem de falha na madeira para os painéis colados com a espécie *Pinus taeda* foram superiores ao da espécie *Tectona grandis*, significando que a madeira *Tectona grandis* apresentou resistência superior ao adesivo e, pelo fato de obter maior concentração de extrativos totais, que são ácidos graxos, dificultou a adesão do adesivo com a madeira.

Na condição úmido, a gramatura que apresentou o maior valor de resistência foi a de 160 g/m² (6,07 MPa) e a gramatura que apresentou o menor valor foi a de 180 g/m² (4,53 MPa), para o adesivo PU na espécie de *Pinus taeda*, sendo encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as gramaturas. Em relação ao valor mínimo de 5° percentil estabelecido pela norma, todas as gramaturas para este adesivo alcançaram o valor mínimo. Por outro lado, o menor valor médio da resistência ao cisalhamento entre os tratamentos ficou com o adesivo PVAc D3, igual a 1,85 MPa, não atendendo à norma EN 13353:2003.

A Figura 31 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição úmida, para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

Figura 31 - Micrografias por MEV de painel de madeira colado lateralmente, condição úmido, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7, para a espécie: (a) *Pinus taeda* e (b) *Tectona grandis*

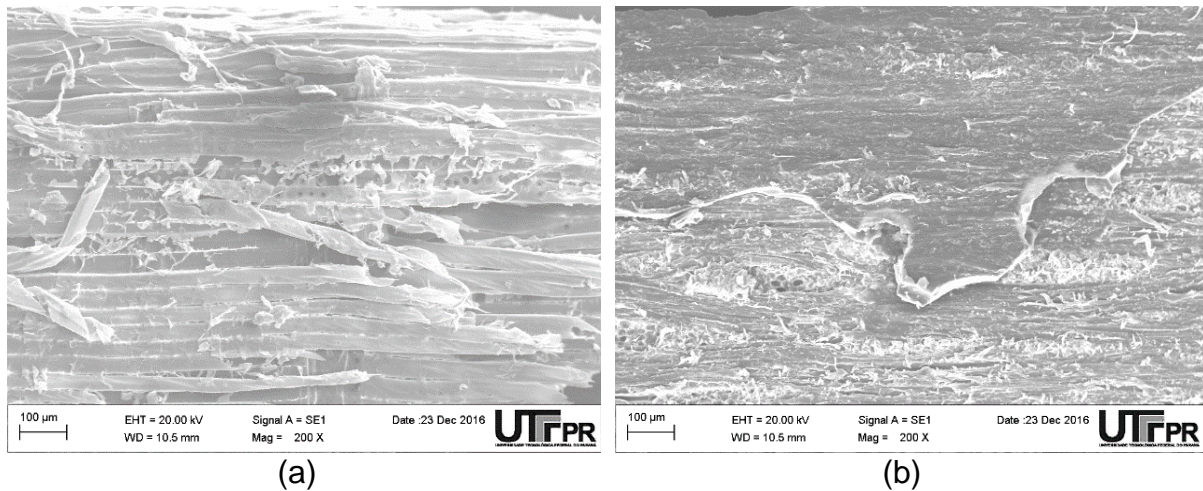


Para a espécie *Tectona grandis*, todos os tratamentos produzidos com os adesivos de PU, PVAc e EPI atenderam à norma em relação ao valor mínimo de 5^o percentil. Sendo os maiores valores médios para a resistência com o adesivo PU com 180 g/m² (10,43 MPa) e o menor para o adesivo PVAc D3, com valor médio igual a 3,44 MPa.

Nos ensaios, após a condição de fervura, o maior valor de cisalhamento na linha de cola para a espécie *Pinus taeda* obtido foi para a gramatura de 180 g/m² com o adesivo PU derivado do óleo de mamona (5,12 MPa) e o menor valor para o adesivo EPI com 180 g/m² (2,20 MPa). As juntas coladas de *Pinus taeda* coladas com o adesivo PU foram superiores em todas as gramaturas quando comparadas com o adesivo EPI. Os valores médios foram divididos em 3 grupos pela análise estatística, havendo diferenças significativas entre os adesivos e, dentro do adesivo poliuretano, entre as gramaturas, onde apenas a gramatura de 180 g/m² difere estatisticamente.

A Figura 32 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição fervura, para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

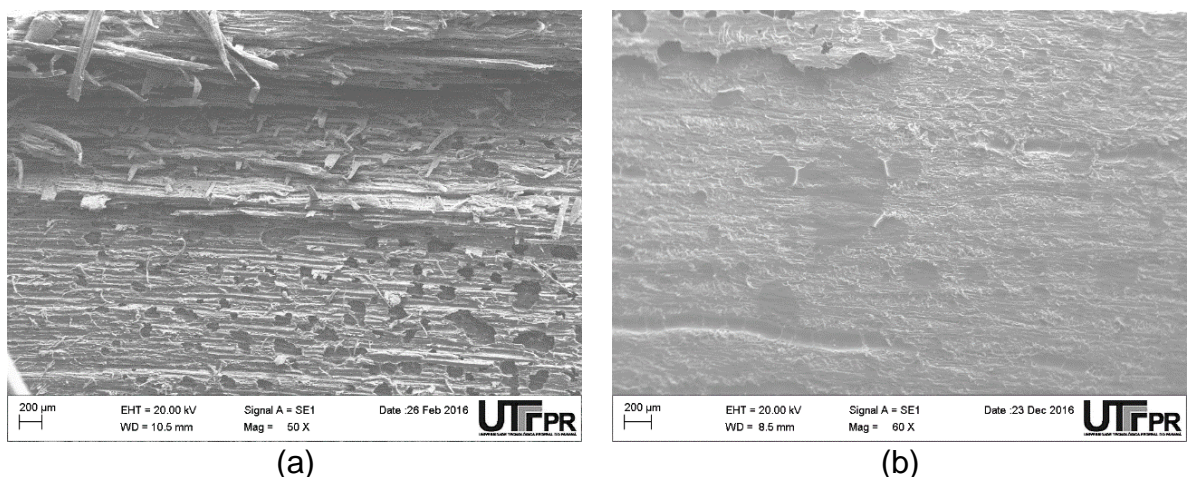
Figura 32 - Micrografias por MEV de painel de madeira colado lateralmente, condição fervura, colado com PU 120 g/m² com proporção de: 1:0,7, para a espécie: (a) *Pinus taeda* e (b) *Tectona grandis*



Analisando os valores médios do cisalhamento na linha de cola para a espécie florestal *Tectona grandis* colados com o adesivo PU, após a condição de fervura, o maior valor médio foi para a gramatura de 180 g/m² (6,38 MPa) e o menor para a gramatura de 160 g/m² (4,70 MPa), não apresentando diferenças significativas entre elas. Quando comparados com o adesivo EPI (1,91 MPa), os valores médios para o adesivo poliuretano foram superiores, apresentando características de um adesivo estrutural e o EPI sendo indicado para o uso interno úmido com proteção.

A Figura 33 mostra as fraturas obtidas após o teste de cisalhamento na linha de cola, para a condição ciclo, para as espécies de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

Figura 33 - Micrografias por MEV de painel de madeira colado lateralmente, condição ciclo, colado com PU 180 g/m² com proporção de: 1:0,7, para a espécie: (a) *Pinus taeda* e (b) *Tectona grandis*



Em relação ao pré-requisito da norma EN 13353 (2003), o tratamento para a espécie *Pinus taeda* com a menor gramatura que atende à norma foi de 160g/m², que obteve 3,13 MPa para o 5º percentil inferior, atendendo à norma. Para a espécie *Tectona grandis*, a menor gramatura que atende à norma foi para 120 g/m². O adesivo EPI em nenhum dos tratamentos para a condição de fervura atendeu à norma EN 13353 (2003).

Para a condição ciclo, em relação a juntas coladas de *Pinus taeda* com adesivo PU com proporção de 1:0,7 (pré-polímero e polioliol), o maior valor médio de cisalhamento (4,35 MPa) foi obtido para a gramatura de 180 g/m² e o menor valor médio (3,09 MPa) com a gramatura 120 g/m², havendo diferença estatística entre elas.

As juntas coladas da espécie florestal *Tectona grandis*, para a condição ciclo, com adesivo PU com proporção de 1:0,7 (pré-polímero e polioliol), apresentaram o maior valor médio de cisalhamento (5,65 MPa) para a gramatura 120 g/m² e o menor valor médio (4,71 MPa) foi obtido a partir da gramatura 180 g/m², não havendo diferenças estatísticas entre elas.

Quando comparado com o adesivo PVAc D3 e o EPI – ambas espécies –, as juntas coladas com o adesivo poliuretano apresentaram valores superiores ao teste de cisalhamento para todos os tratamentos, demonstrando que o adesivo poliuretano é mais indicado para a produção de produtos colados de madeira que requeiram maior resistência à umidade.

A norma EN 13353 estabelece um valor mínimo de 2,5 MPa para o 5º percentil inferior para a avaliação da resistência das juntas coladas. Para a espécie *Pinus taeda* apenas a gramatura 180 g/m² (3,60 MPa) apresentou valor superior ao exigido pela norma e para a espécie *Tectona grandis* todas as gramaturas testadas, 120 (4,15MPa), 140 (2,58 MPa), 160 (2,65 MPa) e 180 (4,08 MPa) g/m², apresentaram valores superiores a 2,5 MPa. O adesivo EPI com a gramatura de 180 g/m² não atingiu o valor mínimo exigido pela norma para a espécie *Pinus taeda* (1,51 MPa) e *Tectona grandis* (0,43 MPa), não sendo indicado para colagem de madeira que necessite de resistência à umidade.

A porcentagem de falha na madeira para a espécie *Tectona grandis* foi de 0%, o que significa que a madeira apresentou resistência superior ao adesivo nas condições úmido, fervura e ciclo.

Na tabela 8 são mostrados os melhores resultados para o cisalhamento na linha de cola para os painéis colados lateralmente com o adesivo PU para a espécie *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.

Tabela 8 – Melhores resultados para a resistência ao cisalhamento na linha de cola para as espécies *Pinus taeda* e *Tectona grandis* com o adesivo de PU e variação no tratamento e na gramatura

Espécie	Condição	Adesivo	Gramatura (g/m ²)	Resistência ao cisalhamento (MPa)		Falha	
				Média	5º percentil inferior	Madeira (%)	Adesivo (%)
<i>Pinus taeda</i>	Seco	PU (1:0,7)	120	8,55	5,17	40	60
	Úmido		120	5,45	4,33	28	72
	Fervura		160	3,91	3,13	26	74
	Ciclo		180	4,35	3,60	42	58
<i>Tectona grandis</i>	Seco	PU (1:0,7)	120	10,05	6,30	13	87
	Úmido		120	8,10	4,70	0	100
	Fervura		120	5,13	2,52	0	100
	Ciclo		120	5,65	4,15	0	100

5 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas e nos resultados obtidos quanto às propriedades das espécies estudadas *Pinus taeda* e *Tectona grandis*, pode-se concluir que:

A espécie de *Pinus taeda* apresentou a menor massa específica básica quando comparada com os valores médios da espécie *Tectona grandis*. Ambas as espécies foram classificadas como de massa específica média e adequadas para a produção de painéis colados lateralmente.

As espécies estudadas apresentaram teor de umidade médio dentro do recomendado pelo fabricante de adesivo, o qual não irá afetar o processo de colagem.

A espécie de *Pinus taeda* apresentou valores médios menores para a concentração de compostos químicos quando comparada com a espécie *Tectona grandis*.

Com base nas análises realizadas e nos resultados obtidos quanto à colagem das espécies estudadas, pode-se concluir que:

Etapa I – Tempo de prensagem

O melhor tempo de prensagem para a produção de painéis colados lateralmente de *Pinus taeda* com o adesivo PU na proporção de 1:1 de pré-polímero e polioliol com gramatura de 180 g.m⁻² foi de 4 horas, atendendo aos requisitos mínimos para o quinto percentil inferior estabelecido pela norma EN 13353 (EN, 2003), e com tempo estatisticamente igual em relação aos tempos de prensagem maiores, ganhando produtividade quando utilizado um menor tempo de prensagem.

A observação das micrografias de MEV das fraturas indica que houve diferença entre a distribuição do adesivo com os diferentes tempos de prensagem e entre os tratamentos.

Etapa II – Proporção de pré-polímero e polioliol

A melhor proporção de pré-polímero e polioliol para o adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona para a produção de painéis colados lateralmente com a espécie *Pinus taeda* foi de 1:0,7 com tempo de prensagem de 4 horas e com gramatura de 180 g.m⁻² para uso externo.

Para a produção de painéis de madeira colados lateralmente que sejam para o uso interno, a melhor proporção de pré-polímero e polioliol foi de 1:1,3 com tempo de prensagem de 2 horas.

A observação das micrografias de MEV das fraturas indica que houve diferença entre a distribuição do adesivo com os diferentes tempos de prensagem, entre os tratamentos e entre a variação de proporção do pré-polímero e polioliol.

Etapa III – Gramatura

A diminuição da gramatura não influenciou negativamente na resistência de colagem lateral na espécie de *Pinus taeda*.

A melhor gramatura para os painéis colados lateralmente com a espécie *Pinus taeda* colados com o adesivo PU (1:0,7) foi de 120 g/m² para o tratamento seco e úmido, 160 g/m² para o tratamento fervura e 180 g/m² para o tratamento ciclo, em que essas gramaturas atenderam aos requisitos da norma EN 13353 (EN, 2003) quanto ao quinto percentil inferior para cada tratamento citado. A gramatura que atendeu a todos os tratamentos foi a de 160 g.m⁻².

A melhor gramatura para os painéis colados lateralmente com a espécie *Tectona grandis* colados com o adesivo PU (1:0,7) foi de 120 g/m², atendendo aos requisitos da norma EN 13353 (EN, 2003) quanto ao quinto percentil inferior para todos os tratamentos.

O adesivo PU apresentou valores superiores para o teste de cisalhamento na linha de cola quando comparado com os adesivos PVAc D3 e EPI, sendo indicado quando são exigidas maiores resistências a umidade. Também é indicado para a produção de painéis colados lateralmente, apresentando características diferentes a sua preparação antes da colagem e de acordo com o tempo de prensagem.

REFERÊNCIAS

- ADLER, E. Lignin chemistry - past, present and future. **Wood Science and Technology**, v. 11, n.1, pp.169-218, 1977.
- ALBINO, V. C. do. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, pp. 509-516, set. 2010.
- ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente – EGP**. 2013. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2013.
- ALMEIDA, C. C. F. **Avaliação da qualidade da colagem da madeira de *Cupressus lusitanica* mill. para a produção de painéis colados lateralmente (edge glued panel - EGP)**. 2015. Dissertação (Mestrado) – UESC, Lages, 2015.
- ARAÚJO, L. C. R. **Contribuição ao estudo dos poliuretanos flexíveis derivados de óleo de mamona determinando suas propriedades físicas e químicas**. 1998. Tese (Doutorado) – IQSC, São Carlos, 1998.
- ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, UFPR, Curitiba, 2006.
- ANGELI A. ***Tectona grandis* (Teca)**. Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. 2003. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/tectona.grandis.asp>>. Acesso em: 13/05/2017.
- ASTM D907. **Standard Terminology of Adhesives**. Philadelphia, 2014.
- ABIMCI, Associação Brasileira da Indústria de Madeira Mecanicamente Processada. **Estudo setorial 2008: indústria de madeira processada mecanicamente, ano base 2007**. Curitiba, 2008. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br/wp-content/uploads/2014/02/2009.pdf>>. Acesso em: 20/08/2016.
- AZAMBUJA, M. A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. 2006. Tese (Doutorado) – IQSC, São Carlos, 2006.
- Azevedo, E. C. **Síntese e Caracterização de Compósito Piezo elétrico Polímero Cerâmica 0-3**. 1999. Dissertação (Mestrado) – São Carlos, 1999.
- AZEVEDO, E. C. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretano derivado do óleo de mamona**. 2009. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2009.
- BANDEL, A. Adhesivos y tecnología del encolado en la industria de la madera. **Rib& Sons**, Milão, 1991.

BALLARIN, A. W.; LARA PALMA, H. A. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, pp. 371-380, 2003.

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. 2014. Tese (Doutorado) – UFV, Viçosa, 2014.

BLAZZON, J.C. **Influência da velocidade de avanço no aplainamento da madeira sobre o desempenho de colagem com adesivo à base de poliacetato de vinila**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Unesp, Bauru, 2016.

BILA, N. F. **Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia**. 2014. Dissertação (Mestrado) – UFPR, Curitiba, 2014.

BEATRIZ, G.; MARTO, T. Indicações para escolha de espécies de pinus. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, ed. 119, 2009. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1381&subjet=Pinus&title=Indica%E7%F5es%20para%20escolha%20de%20esp%E9cies%20de%20pinus>. Acesso em: 01/12/ 2017.

BRASEQ. **Viscosidade e reologia**: noções básicas. São Paulo, 2005.

BONDUELLE, G.; IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J.; ROCHA, V. Análise da massa específica e da retratibilidade da madeira de *Tectona grandis* nos sentidos axial e radial do tronco. **Floresta**, v. 45, n. 4, pp. 671-680, 2015.

BORTOLETTO JUNIOR, G. **Estudo da qualidade da madeira de *Pinus taeda* L. provenientes de árvores adultas atingidas por incêndio florestal**. 1999. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – UFPR, Curitiba, 1999.

CARNEIRO, A. de C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; MORI, F. A. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. **Cerne**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2001.

CARVALHO, J. E.; CHIERICE, G. O.; CLARO NETO, S. Caracterização térmica do poliuretano derivado de óleo vegetal utilizado para confecção de dispositivo de assistência ventricular. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v. 3, p. 16, 2014.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 2, pp. 138-150, 2014.

CLARO NETO, S. **Caracterização físico-química de um poliuretano derivado de óleo de mamona utilizado para implantes ósseos**. 1997. Tese (Doutorado) – São Carlos, USP, 1997.

COPANT 461. Comissão Panamericana de Normas Técnicas. Determinación Del peso específico aparente, 1972.

CONNER, A. H. **Wood: adhesives**: encyclopedia of materials – science and technology. New York: Elsevier Science, 2001.

ESAU, K. **Plant Anatomy**. New York: John Wiley & Sons, 1965.

EUROPEAN STANDARD. **EN 314-1**: Plywood – Bonding quality – Part 1: Test methods. Bruxelas, 2004.

EUROPEAN STANDARD. **EN 323**: Painéis derivados de Madeira – Determinação da massa específica. European Standard. Bruxelas, 2000.

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. Bruxelas, 2002.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13353**: Solid wood panels (SWP) – Requirements. Bruxelas: European Committee For Standardization, 2003.

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

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood-Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989.

FAVARO, J. H. B. **Caracterização química e mecânica de um adesivo poliuretano para utilização em metais**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Química, USP-SC, 2004.

FERREIRA Y. K. **Nanoesferas de sílica – otimização das condições de síntese e estudo de propriedades**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, 2004.

FIORUCCI, A. R.; SOARES, A. H. F. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Conceito de solução tampão. **Química Nova na Escola**, n. 13, pp. 18-21, 2001.

FONTE, A.P.N. **Análise da qualidade da colagem lateral de painéis edge glued panels de *Tectona grandis* produzidos com diferentes gramaturas**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Industrial Madeireira, UFPR, Curitiba, 2014.

FONTE, A. P. N. **Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – UFPR, Curitiba, 2016.

FRIHART, C. R. **Wood adhesion and adhesives**. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Boca Raton: CRC Prews, 2005.

FLOREZ, J. B. **Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (*Tectona grandis* L.f.)**. 2012. Dissertação (Mestrado) – UFL, Lavras, 2012.

FPL. U.S. PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463p. Madison, 1999. Disponível em: <http://www.woodweb.com/Resources/wood_eng_handbook/wood_handbook_fpl_2010.pdf>. Acesso em: 23/04/2017.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials bond formation and performance. In: **Forest products laboratory. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

GALLETI, S. R. Introdução à microscopia eletrônica. **Biológico**, São Paulo, v. 65, n. 1/2, pp. 33-35, 2003.

GARCIA, A.; RECH, M. Adesivos para a madeira e móveis. **Revista da Madeira**, ed. 128, 2011.

GARDNER, D. J. Adhesion mechanisms of durable wood adhesive bonds. **Blackwell Publishing**, pp. 254-265, 2006. (cap. 19)

HAUBRICH, J. L.; GONÇALVES, C.; TONET, A. Adesivos Vinílicos Apresentam Soluções para Madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 103, pp. 66-70, 2007.

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

IBÁ. Industrial Brasileira de Árvores. **Relatório Ibá 2015: ano base 2014**. Brasília, DF. 2015. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 23/02/2016

INOUE SANQUETTA, M.; SANQUETTA, C.; DALLA CORTE, A.; RODRIGUES, A.; BENEDET MAAS, G. Contribuição de um segundo diâmetro na estimação de volume individual de plantios jovens de *Tectona grandis* L.f. **REVISTA AGRO@MBIENTE ONLINE**, v. 9, n. 4, pp. 446-454, 2016.

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

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B. da; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D. de; BÔAS, B. T. V. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p.p. 411-416, 2013.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R.; PARCEN, C. F.; CASTRO, V. G.; IWAKIRI, V. T. Características de vigas laminadas coladas confeccionadas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, 2014.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, R. F.; GONÇALVES, T. A. P; LOIOLA, P. L.; CAMPELO, S. R.; FARIAS, S. M. A. P. Avaliação da resistência de juntas coladas da

madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, pp. 19-26, 2015.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. Tese (Doutorado) – USP, São Carlos, 2000.

JUNIOR, L. M. M. S. **Avaliação da qualidade da madeira de cinco espécies de pinus destinadas à produção de celulose**. 2016. Dissertação (Mestrado) – São Paulo, Botucatu, 2016.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2000.

KLOCK U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira: manual didático**. Curitiba: UFPR, 2005. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 07/12/2016.

LAU, P. C. **Produção de painéis de colagem lateral – EGP com madeira de *Populus deltoides***. 2017. Dissertação (Mestrado) – UFPR, Curitiba, 2017.

LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. Wood structure and composition. **International Fiber Science and Technology**, v. 11, 1991.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. C. O. Características anatômicas e químicas da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, abr./jun. 2007.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada a classificação de painéis colados lateralmente de madeira de *Pinus taeda* L.** 2008. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2008.

LOPES M. C.; MUNIZ G. I. B.; MATOS J. L. M.; TANOBE V.O.A; CHINASSOCA F, R. S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, v. 19, n. 4, pp. 613-619, 2013.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

LUO N.; QIAN J.; CUPPS J.; WANG Y.; ZHOU B.; ARMBRUSTER L.; FRENKEL P. Natural Oil Polyol of High Reactivity for Rigid Polyurethanes. **BioBased Technologies®**, 2008.

MANTILLA CARRASCO, E. V. **Ligações estruturais de madeira por adesivos**. 1984. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1984.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Edgar Blucher, 1991.

- MANO, E. B. **Introdução a Polímeros**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.
- MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; AZEVEDO, E. C. Caracterização Física e Térmica de Compósito de Poliuretano Derivado de Óleo de Mamona Associado com Partículas de Bambu. **Polimeros**, v. 23, n 2, pp. 201-205, 2013.
- MARRA, A. A. *Technology of wood bonding: principles in practice*. New York: VanNostrand Reinhold, 1992.
- MITCHELL, P. H.; LEMASTER, R. L. Investigation of machine parameters on the surface quality in routing soft maple. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52, n. 6, pp. 85-90, 2002.
- MOREIRA, E. L.; FAZION, H.; RIBEIRO, E. S. Variação dos teores de extrativos de três espécies florestais. **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, p. 163, 2016.
- MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem de *Pinus elliottii* Engelm. E *Pinus taeda* L.** 1993. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 1993.
- NISGOSKI, S. **Anatomia da Madeira: manual didático**. Curitiba: UFPR, 2009.
- ÖZÇİFÇİ, A.; YAPICI, F. Effects of machining method and grain orientation on the bonding strength of some wood species. **Journal of Materials Processing Technology**, Amsterdam, v. 202, n. 1/3, pp. 353-358, June 2007.
- PIZZI, A. e MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 2003.
- PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de Pinus Tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge gluedpanels – EGP)**. 2010. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2010.
- RECH, C. Características da teca. **Revista da Madeira**, n. 118, pp. 55-57, 2009.
- REINHART, F. W.; CALLOMON, I. G. Survey of adhesion and adhesives. **Wade technical report**, pp. 58-540, 1959.
- RICHTER, H. G.; DALLWITZ, M. J. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. Disponível em: <<http://delta-intkey.com/wood/pt/www/vertegra.htm>>. Acesso em: 14/05/2016.
- SANTOS, D. **Meristemas**. Blog, 2012. Disponível em <<https://djalmasantos.wordpress.com/2012/03/29/meristemas/>>, Acesso em: 27/12/2017.
- SCHULTZ, J. e NARDIN, M. Theories and Mechanisms of Adhesion. In: PIZZI, A. e MITTAL, K. L. **Handbook of Adhesive Technology**. New York: Marcel Dekker, 2003. pp. 61-75. (cap. 3)

SCHWEINGRUBER, F. Microscopic Wood Anatomy. **Forest, Snow and Landscape Research**. Swiss Federal Institute, 1990.

SEBENIK, U.; KRAJNC, M. Influence of the soft segment length and content in the synthesis and properties of isocyanate – terminated urethane prepolymers. **International Adhesion & Adhesives**, v. 27, pp. 527-535, 2007.

SELLERS JR., T. **Adhesive in the Wood Industry**. New York: Marcel Dekker, 1994. (cap. 37)

SHIMIZU, J. Y.; SEBBENN, A. M. Espécies de pinus na silvicultura brasileira. In: SHIMIZU, J. Y. **Pínus na silvicultura brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008.

SINGH, A. P.; DAWSON, B.; RICKARD, C.; BOND, J.; SINGH, A. Light, confocal and scanning electron microscopy of wood-adhesive interface. **Microscopy and Analysis**, v. 22, n. 3, pp. 5-8, 2008.

TANG, W.; NEWTON, R. J. Glucocorticoid-inducible transgene expression in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) cell suspension cultures. **Plant Science**, v. 166, pp. 1351-1358, 2004.

TAPPI 204. **Test methods: solvent extractives of wood and pulp**. Atlanta, 1997

TAPPI 207. **Water solubility of wood and pulp**. Atlanta, 1999.

TAPPI 211. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard – combustion at 525°C**. Atlanta, 2002.

TAPPI 212. **One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp**. Atlanta, 2002.

TAPPI 222. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Atlanta, 2002.

TEIXEIRA, A. P. M. **Adesivos poliuretanos para colagem da madeira de eucalipto**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso – UFPR, 2015.

TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. Crescimento da Teca (*Tectona grandis*) em Reflorestamento na Amazônia Setentrional. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 59, p. 05, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010 Dissertação (Mestrado) – UFPR, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI S.; MATOS J. L. M. Potential use of planted fast-growing species for production of particleboard. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 23, n. 3, pp. 311-317, 2011.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. Tese (Doutorado) – UFPR, Curitiba, 2012.

TRIANOSKI, R.; PICCARDI, A. B. R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de Pinus. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, pp. 278-285, 2016.

TRUGILHO, P. F.; GOULART, S. L.; ASSIS, C. O.; COUTO, F. B. S.; ALVES, I. C. N.; PROTÁSIO, T. P.; NAPOLI, A. Características de crescimento, composição química, física e estimativa de massa seca de madeira em clones e espécies de *Eucalyptus* jovens. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, pp. 661-666, 2015.

VALERI, S. V.; SOARES R. V. e MONTEIRO, R. F. R. Exportação de biomassa de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. **Floresta**, v. 19, n. 1-2, pp. 23-29, 1989.

VICK, C. B.; ROWELL, R. M. Adhesive Bonding of Acetylated Wood. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 10, pp. 263-272, 1990.

VILAR, W. D. **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.

OLARESCU, A.; BADESCU, L. A. Bonding quality of panels made of crosscut softwoodbranches. **DAAAM & Proceedings**, 2008, *Annals...* pp. 985-987.

OLIVEIRA, L. S. D. **Estudo Químico e Biológico da Madeira de lei *Hymenolobium petraeum* (Angelim pedra)**. 2011. Dissertação (Mestrado) – UFPE, Recife, 2011.

WU, S. **Polymer interface and Adhesion**. New York, USA: Marcel Dekker, 1982. pp. 410-420.