

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE  
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

**AVALIAÇÃO COMPARADA DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA  
COLAGEM LATERAL DE PAINÉIS DE MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* E *PINUS  
TAEDA***

ADRIANO BOLGENHAGEN

Joinville - SC

2018

**ADRIANO BOLGENHAGEN**

**AVALIAÇÃO COMPARADA DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA  
COLAGEM LATERAL DE PAINÉIS DE MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* E *PINUS  
TAEDA***

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, na Universidade da Região de Joinville.

Orientadora: Profa. Dra. Noeli Sellin.

Coorientador: Prof. Dr. João Carlos Ferreira de Melo Jr.

JOINVILLE – SC

2018

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

B688a	<p>Bolghagen, Adriano</p> <p>Avaliação comparada dos parâmetros que influenciam na colagem lateral de painéis de madeira de Pinus elliottii e Pinus Taeda/ Adriano Bolghagen ; orientador Dra. Noeli Sellin ; coorientador Dr. João Carlos Ferreira de Melo Jr. – Joinville: UNIVILLE, 2018.</p> <p>107 p.: il. ; 30 cm</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)</p> <p>1. Mobiliário - Fabricação. 2. Pinus elliottii. 3. Pinus taeda. 4. Madeira – Produtos. I. Sellin, Noeli (orient.). II. Melo Junior, João Carlos Ferreira de (coorient.). III. Título.</p> <p>CDD 645.4</p>
-------	--

## Termo de Aprovação

**“Avaliação comparada dos parâmetros que influenciam na colagem lateral de painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *P. taeda*”**

por

Adriano Bolgenhagen

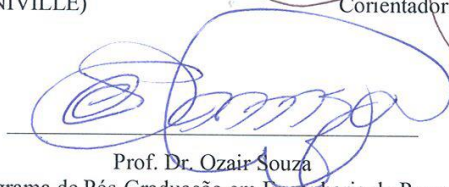
Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.



Profa. Dra. Noeli Sellin  
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior  
Orientador (UNIVILLE)

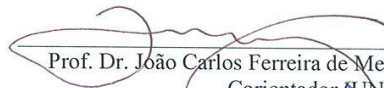


Prof. Dr. Ozair Souza  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

### Banca Examinadora:



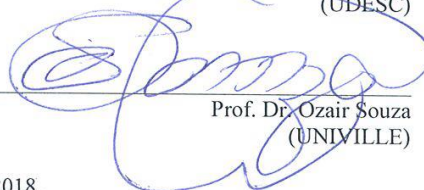
Profa. Dra. Noeli Sellin  
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. João Carlos Ferreira de Melo Júnior  
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dr. Dêlcio Pereira  
(UDESC)



Prof. Dr. Ozair Souza  
(UNIVILLE)

Joinville, 28 de maio de 2018.

Dedico a todas aquelas pessoas que compreendem que o ensino e a educação podem mudar suas vidas. Aos meus pais Roberto e Maria Bolgenhagen (*in memoriam*), em especial.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente, por me ajudar a alcançar e conquistar meus objetivos.

Aos meus pais, Roberto e Maria Bolgenhagen (*in memoriam*), que me concederam a oportunidade de seguir meus sonhos.

A minha namorada Emilly Laís Roskamp, por sempre estar comigo.

À orientadora professora doutora Noeli Sellin, pela orientação, apoio, dedicação e amizade.

Ao coorientador professor doutor João Carlos Ferreira de Melo Jr., pela dedicação, atenção despendida em todas as atividades e pela amizade

Ao professor Moacyr Carlos Possan Jr. por toda a ajuda, sempre com entusiasmo e atenção sempre que precisei.

Ao coordenador de produção da empresa Móveis Rudnick Sr. Marcelo Ferraz, que junto, com seus ensinamentos contribuiu para conclusão deste trabalho.

À empresa Móveis Rudnick SA, pela oportunidade de desenvolver e criar condições para realização deste trabalho, a todos os seus funcionários pelo respeito e carinho.

Aos senhores Dsiales Ribeiro e Anderson Soares pelo apoio no desenvolvimento da atividade.

Ao apoio dado pelo Laboratório de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário do SENAI – São Bento do Sul, em especial a gerente técnica Sandra Furst e ao coordenador Vilmo Lochstein.

À equipe do laboratório de anatomia vegetal da UNIVILLE, em especial ao amigo Maick W. Amorin que sempre este disposto a ajudar.

Em especial ao meu amigo Marcelo Swirkowsky, por sempre me acompanhar na vida.

Aos meus amigos de turma, por todos os momentos que passamos juntos.

Portanto, agradeço a todos que me possibilitaram, de forma direta ou indiretamente, concluir este trabalho.

## RESUMO

Atualmente, o país vem sofrendo transformações em busca de novas alternativas para o setor madeireiro e o setor de madeira processada ganha força ao produzir produtos mais complexos a partir de uma base florestal plantada, com destaque para as espécies de *Pinus* da região sul do país. Os principais interesses despertados neste trabalho, foram as aplicações de tecnologias mais eficazes para melhorar a interação madeira-adesivo no desenvolvimento de painéis com maior estabilidade dimensional e resistência mecânica, garantido assim a qualidade dos produtos usados em móveis de *Pinus* gerados a partir do EGP (*painel com colagem lateral*), e consequentemente, contribuir para a diminuição de peças refugadas no processo de produção. Este trabalho teve como objetivo avaliar a resistência e a interação madeira-adesivo da linha de cola em painéis EGP de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente com adesivo a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI). A qualidade superficial da madeira colada e os parâmetros de processamento durante a colagem foram avaliados. Na produção das uniões das peças de madeiras foram empregados diferentes processos de usinagem (moldureira, lixa e serra) e peças com diferentes teores de umidade (8 e 15 %) e dimensões (ripas com espessura 45 e 60 mm). Foram avaliadas as propriedades físicas das espécies de madeiras e as propriedades mecânicas dos elementos colados, tanto para a colagem lateral quanto para a colagem de topo através de uniões de topo (*finger joint*). Os resultados das análises anatômicas mostraram que as duas espécies de *Pinus* não apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), e que fatores como a densidade da madeira e teor de umidade das ripas não influenciaram as suas propriedades mecânicas. A rugosidade média (1,82  $\mu\text{m}$ ), originada no processo com serra apresentou o melhor resultado para colagem lateral. A resistência ao cisalhamento das espécies de *P. elliottii* e *P. taeda* foram de 137,03  $\text{kgf/cm}^2$  e 149,36  $\text{kgf/cm}^2$ , respectivamente, e foram obtidas pela colagem de ripas de 60 mm. A maior resistência à tração das emendas *finger joint*, (262,64  $\text{kgf/cm}^2$ ) foi obtida na colagem da espécie e *P. taeda*, com ripas de 60 mm, teor de umidade de 15% e processo de serra. Analisando os requisitos das normas, todas as espécies atenderam os valores mínimos exigidos tanto de falha na madeira quanto de resistência mecânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Móveis de *Pinus*, fabricação de PMVA, colagem de madeira.

## ABSTRACT

Currently, the country has undergone transformations in search of new alternatives for the timber sector and the processed wood sector gains strength by producing more complex products from a planted forest base, with emphasis on *Pinus* species from the southern region of the country. The main interests of this work were the applications of more efficient technologies to improve the wood-adhesive interaction in the development of panels with greater dimensional stability and mechanical resistance, thus guaranteeing the quality of products used in *Pinus* furniture generated from EGP (Edge Glued Panel), and consequently contribute to the reduction of waste parts in the production process. This work aimed to evaluate the resistance and the wood-adhesive interaction of the glue line in EGP of *Pinus elliottii* and *Pinus taeda* wood glued laterally with an adhesive based on emulsion polymer isocyanate (EPI). The surface quality of the bonded wood and the processing parameters during bonding were evaluated. Different machining processes (molding, sanding and sawing) and parts with different moisture contents (8 and 15%) and dimensions (slats with thicknesses of 45 and 60 mm) were used in the production of wood pieces joints. The physical properties of the wood species and the mechanical properties of the glued elements were evaluated, both for side gluing and for top gluing through finger joint. The results of the anatomical analyzes showed that the two *Pinus* species did not present significant differences ( $p < 0.05$ ), and factors such as wood density and slat moisture content did not influence their mechanical properties. The average roughness ( $1.82 \mu\text{m}$ ) originated in the saw process, presented the best result for lateral bonding. The shear strength of *P. elliottii* and *P. taeda* species was  $137.03 \text{ kgf/cm}^2$  and  $149.36 \text{ kgf/cm}^2$ , respectively, and were obtained by gluing 60 mm slats. The highest tensile strength of the finger joint ( $262.64 \text{ kgf/cm}^2$ ) was obtained in the bonding of *P. taeda* with slats of 60 mm, moisture content of 15% and sawing process. Analyzing the standards requirements, all species had the minimum values required for both wood failure and mechanical resistance.

**KEY WORDS:** *Pinus* furniture, PMVA manufacture, wood glue.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Características gerais da espécie de <i>Pinus taeda</i> . .....	22
Figura 2 – Características gerais da espécie de <i>Pinus elliottii</i> . .....	23
Figura 3 – Área florestal plantada das espécies de <i>Pinus</i> (Pinaceae) no Brasil. ....	24
Figura 4 – Representação esquemática do painel de peças de madeira com colagem lateral e emenda de topo ( <i>EGP</i> ). .....	25
Figura 5 – Representação esquemática do lenho das coníferas nos três planos de observação anatômica. ....	27
Figura 6 – Tipos de traqueídeos do lenho das coníferas. ....	28
Figura 7 – Desenho esquemático representando a emenda do tipo <i>finger joint</i> . ....	35
Figura 8 – Representação do corte de longitudinal tangencial madeira e tábuas de <i>Pinus</i> utilizadas no estudo. ....	39
Figura 9 – Processo de corte em máquina otimizadora e seleção das ripas em <i>scanner</i> . ....	42
Figura 10 – Pilhas de ripas preparadas para o processo de aplicação de cola e prensagem. ....	42
Figura 11 – Aplicação do filme de cola nas ripas de madeira. ....	43
Figura 12 – Processo de prensagem em alta frequência das ripas para formação dos painéis. ....	43
Figura 13 - Painéis <i>EGP</i> produzidos. ....	44
Figura 14 – Delineamento das 6 etapas do processo experimental usado no estudo. ....	46
Figura 15 – Fluxograma representativo das etapas utilizadas na formação dos painéis <i>EGP</i> de <i>Pinus</i> demonstrando as etapas de caracterização e experimentos realizados. ....	47
Figura 16 – Etapas do processo de preparação dos cortes histológico. ....	48
Figura 17 - Lâminas histológicas e material macerado das duas espécies de <i>Pinus</i> . ....	49
Figura 18 – Material analisado em microscópio. ....	50
Figura 19 – Determinação da densidade básica pelo método da balança hidrostática. ....	50
Figura 20 – Esquema para a confecção dos corpos de prova para análise das tensões residuais de secagem descritas pela metodologia de Pratt (1974). ....	53
Figura 21 – Padrões visuais de qualificação das tensões geradas na secagem descritas pela metodologia de Pratt (1974). ....	53
Figura 22 – Determinação da viscosidade <i>Brookfield</i> do adesivo, do catalisador e da cola (adesivo + catalisador). ....	55
Figura 23 – Determinação do teor de sólidos das amostras. ....	55

Figura 24 – Corpo de prova para tração da lâmina colada normal às fibras. ....	57
Figura 25 – Corpo de prova para tração da emenda dentada.....	57
Figura 26 – Características macroscópicas das madeiras das espécies de <i>P. elliottii</i> e <i>P. taeda</i> . .....	60
Figura 27 – Micrografia da madeira de <i>Pinus elliottii</i> apresentado as características dos traqueídeos, pontoações e raios. ....	62
Figura 28 – Micrografia da madeira de <i>Pinus taeda</i> apresentado as características dos traqueídeos, pontoações e raios. ....	63
Figura 29 – Fotografia dos corpos de prova das tensões do <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	68
Figura 30 – Gráficos do perfil de rugosidade superficial das espécies de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i> geradas por diferentes processos de usinagem e teores de umidade de 8 e 15%.....	70
Figura 31 – Gráfico do comparativo par a par da rugosidade gerada nos processos de lixa, moldureira e serra das duas espécies de <i>Pinus</i> . ....	72
Figura 32 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i> . Os dois primeiros eixos principais explicam 29,8 % e 26,1 % da variância dos dados, respectivamente. ....	82
Figura 33 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i> . Os dois primeiros eixos principais explicam 30,1 % e 22,5 % da variância dos dados, respectivamente. ....	83
Figura 34 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de <i>Pinus elliottii</i> e <i>Pinus taeda</i> . Os dois primeiros eixos principais explicam 30,3 % e 28,2 % da variância dos dados, respectivamente. ....	84

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações do fornecimento e identificação das madeiras usadas no estudo..	39
Tabela 2 – Especificações técnicas do fornecedor para o adesivo e catalisador utilizados no processo de formação dos painéis <i>EGP</i> .....	40
Tabela 3 – Especificações gerais das máquinas, ferramentas e parâmetros de usinagem usados na formação dos painéis <i>EGP</i> do presente estudo.....	41
Tabela 4 – Variáveis analisadas do processo de formação dos painéis <i>EGP</i> .....	45
Tabela 5 – Características macroscópicas das espécies de <i>P. elliotii</i> e <i>P. taeda</i> . ....	59
Tabela 6 – Médias e desvio padrão das características microscópicas das madeiras das espécies de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	64
Tabela 7 – Valores médios das propriedades físico-químicas das espécies de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	65
Tabela 8 – Valores médios da rugosidade superficial média ( $R_a$ ) e total ( $R_z$ ) das espécies de madeira. ....	69
Tabela 9 – Comparação dos valores médios de rugosidade ( $R_a$ ) dos processos de usinagem (serra, lixa e moldureira) pelo teste de Tukey. ....	72
Tabela 10 – Resultado comparativo do ângulo de contato com a face superior usinada. ....	73
Tabela 11 – Valor médio do paralelismo entre faces usinadas das ripas de madeira.....	74
Tabela 12 – Propriedades físico-químicas do adesivo.....	75
Tabela 13 – Valores médios da resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	76
Tabela 14 – Valores médios da resistência da lâmina de cola à tração. ....	78
Tabela 15 – Valores médios da resistência da emenda dentada do tipo <i>finger joint</i> em painéis de madeira de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	80
Tabela 16 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	82
Tabela 17 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	83
Tabela 18 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de <i>Pinus elliotii</i> e <i>Pinus taeda</i> . ....	84
Tabela 19 – Percentual de abertura das linhas de cola dos painéis <i>EGP</i> de <i>Pinus elliotii</i> em quatro diferentes temperaturas.....	85

Tabela 20 – Percentual de abertura das linhas de cola dos painéis <i>EGP</i> de <i>Pinus taeda</i> em quatro diferentes temperaturas.....	86
---	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 OBJETIVOS .....	19
<b>1.1.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>19</b>
<b>1.1.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>20</b>
2.1 SETOR DE BASE FLORESTAL .....	20
2.2 ESPÉCIES UTILIZADAS PELO SETOR DE BASE FLORESTAL.....	21
2.3 PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO (PMVA).....	24
2.4 PAINÉIS <i>EGP</i> .....	25
2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DOS PAINÉIS <i>EGP</i> .....	26
<b>2.5.1 Microestrutura nas coníferas (gimnospermas)</b> .....	<b>26</b>
<b>2.5.2 Propriedades anatômicas da madeira</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5.3 Propriedades químicas da madeira</b> .....	<b>29</b>
<b>2.5.4 Propriedades físicas da madeira</b> .....	<b>30</b>
<b>2.5.5 Características da colagem e do adesivo</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5.6 Características do processo de produção de painéis</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.7 Condições de uso do produto colado</b> .....	<b>36</b>
2.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS JUNTAS COLADAS EM PAINÉIS <i>EGP</i> .....	36
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
3.1 OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE MADEIRAS .....	38
3.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO PARA FORMAÇÃO DOS PAINÉIS <i>EGP</i> .....	40
3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	44
3.4 ANÁLISE ANATÔMICA DAS MADEIRAS.....	48
3.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MADEIRAS... 50	
<b>3.5.1 Densidade</b> .....	<b>50</b>
<b>3.5.2 Retratibilidade da madeira</b> .....	<b>51</b>
<b>3.5.3 Teor de umidade</b> .....	<b>52</b>

<b>3.5.4</b>	<b>Potencial hidrogeniônico.....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.5</b>	<b>Análise das tensões de secagem das madeiras.....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.6</b>	<b>Rugosidade da superfície usinada.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5.7</b>	<b>Estabilidade da superfície usinada.....</b>	<b>54</b>
3.6	DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ADESIVO .....	54
<b>3.6.1</b>	<b>Viscosidade.....</b>	<b>54</b>
<b>3.6.2</b>	<b>Teor de sólidos .....</b>	<b>55</b>
<b>3.6.3</b>	<b>Determinação do potencial hidrogeniônico.....</b>	<b>56</b>
3.7	CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS COLADAS .....	56
<b>3.7.1</b>	<b>Ensaio de resistência mecânica .....</b>	<b>56</b>
<b>3.7.2</b>	<b>Avaliação da resistência de colagem lateral.....</b>	<b>56</b>
3.7.2.1	Cisalhamento na linha de cola .....	56
3.7.2.2	Resistência da lâmina de cola à tração .....	56
3.7.2.3	Resistência da emenda dentada .....	57
3.7.2.4	Resistência térmica da colagem.....	57
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
4.1	ANÁLISE ANATÔMICA DAS MADEIRAS.....	59
<b>4.1.1</b>	<b>Características macroscópicas das espécies de madeira.....</b>	<b>59</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Características microscópicas das espécies de madeiras .....</b>	<b>61</b>
4.2	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	65
4.3	ANÁLISE DAS TENSÕES DE SECAGEM DA MADEIRA.....	67
4.4	RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA .....	68
4.5	ESTABILIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA .....	73
4.6	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DA COLA .....	75
4.7	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS JUNTAS COLADAS.....	76
<b>4.7.1</b>	<b>Cisalhamento na linha de cola.....</b>	<b>76</b>
<b>4.7.2</b>	<b>Resistência da lâmina de cola à tração .....</b>	<b>78</b>
<b>4.7.3</b>	<b>Resistência da emenda dentada do tipo <i>finger joint</i> .....</b>	<b>80</b>
<b>4.7.4</b>	<b>Análise de componentes principais (PCA) .....</b>	<b>81</b>
<b>4.7.5</b>	<b>Resistência térmica da colagem.....</b>	<b>85</b>

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>91</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta cobertura vegetal, com destaque para as florestas Amazônica e Atlântica. Fator este que desponta o país em termos de diversidade de espécies para estudos e desenvolvimentos de culturas, visando à produção de madeira com potencial comercial (IBA, 2016).

O segmento de florestas plantadas apresenta, além da importante contribuição financeira, diversas contribuições ambientais. Apesar de não serem facilmente mensuráveis, as principais funções dos reflorestamentos são evidentes na economia, sociedade e no meio ambiente. As contribuições econômicas são do desenvolvimento econômico regional e nacional, valorização da terra e contribuição no PIB. No segmento social contribui para a geração de renda, pesquisa científica e educação ambiental para conscientização conservacionista. No aspecto ambiental corrobora para a proteção das florestas nativas e ecossistemas através das áreas de preservação permanente e reservas legais, regulação do clima e gases atmosférico, conservação dos recursos hídricos e proteção do solo, redução do desmatamento ilegal e principalmente na redução do impacto sobre as florestas nativas (ABIMICI, 2016).

Dentre as espécies plantadas com intuito comercial no Brasil, destacam-se o eucalipto com 72,0% e *Pinus* com 20,7% do total plantado. A Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMICI (2016) destaca os seguintes produtos oriundos dessa base florestal plantada: compensados; madeira serrada; lâminas; e produtos de maior valor agregado (PMVA) tais como portas, pisos, molduras, janelas, painéis sarrafeados e componentes para utilização em mobiliário.

A madeira *in natura* possui algumas limitações para as aplicações nas indústrias, principalmente, pela característica anisotrópica da sua matéria. Dentre elas, pode-se citar a estrutura biológica da madeira, a composição química, as interações provenientes das condições climáticas no período de desenvolvimento, as técnicas de processamento, as limitações dimensionais e os defeitos naturais<sup>1</sup> que afetam principalmente as propriedades físicas e mecânicas das peças de madeira (ALMEIDA, 2013).

---

<sup>1</sup> Defeitos naturais correspondem à condição não ideal para o processamento industrial devido às situações como a má formação da planta, a presença de nós, rachaduras e outros que podem dificultar a industrialização da madeira.



A partir do emprego das tecnologias de colagem da madeira é possível ampliar as aplicações desse material. A fabricação de painéis reconstituídos aumenta a qualidade e reduz o impacto na relação custo benefício, pois permite um aumento da dimensão útil do painel, melhora na estabilidade mecânica e dimensional do material (IWAKIRI *et al.*, 2005).

Segundo Lima *et al.* (2008), a reconstituição desses painéis colados faz com que a indústria madeireira ganhe destaque no caráter ambiental a partir do aproveitamento da matéria-prima, reduzindo os impactos da escassez das madeiras comerciais e fomentado o desenvolvimento de novas tecnologias para o setor, como por exemplo, a produção dos painéis *EGP* (da abreviação do termo em inglês, *Edge Glued Panel*).

Conforme Lopes (2008), cerca de 70% dos produtos da indústria madeireira utilizam tecnologias de colagem, o que explica a crescente substituição da madeira maciça por artigos derivados como painéis com colagem lateral e emendas *finger joint* (pequenos dentes, com encaixe macho-fêmea, que unem duas peças de madeira).

No mercado nacional, os painéis com colagem lateral são fabricados a partir de peças de madeira de *Pinus* e eucalipto na sua maioria, e empregam adesivos como poliacetato de vinila (PVAc) e emulsão polimérica de isocianato (EPI) (ALMEIDA, 2013; CARVALHO, 2016).

Com o aumento da conscientização ambiental e a busca pela redução dos custos envolvendo as matérias-primas do setor madeireiro, o processamento de madeira secundária é uma necessidade e apresenta-se como um desafio para o desenvolvimento de alternativas na substituição da madeira *in natura* (ABIPA, 2017; MOTTA *et al.*, 2014). Desse modo, o aprimoramento de técnicas de processamento pela indústria inclui melhorias que envolvem o plantio, o manejo e o beneficiamento dessa matéria-prima (ALMEIDA, 2015; BILA, 2014; FONTE, 2016; MAYER, 2007; SBS, 2006).

Porém, para confecção produtos PMVA é importante que seja avaliada primeiramente a capacidade de adesão dessas madeiras. Neste sentido, estão sendo realizadas pesquisas de interesse no conhecimento entre a interação da gramatura e o tipo de adesivo, visando a análise do efeito significativo nos valores de resistência ao cisalhamento (BIANCHE, 2014; PRATA, 2010). Outra linha de pesquisa bastante estudada relaciona o tipo de adesivo utilizado e seu efeito na resistência ao cisalhamento das emendas colada (BIANCHE, 2014; TRIANOSKI, 2013).

De acordo com Foelkel (2008), a grande maioria dos painéis de madeiras colada é empregada para os setores do mobiliário e construção civil. Especificamente para *EGP* de *Pinus* usado na indústria moveleira, o principal interesse despertado é o acréscimo de conhecimentos

científicos de produção eficazes para melhorar a interação madeira-adesivo no desenvolvimento de painéis com maior estabilidade dimensional e resistência mecânica, garantido assim a qualidade de seus produtos.

Contudo, este procedimento ainda apresenta pontos que merecem aprimoramentos técnicos, visando avaliar aspectos que afetam o processamento desses painéis na indústria, tais como, a influência dos anéis de crescimentos da madeira na orientação da formação dos painéis, o tratamento das tensões da madeira de *Pinus* jovem para que sejam inertes nos processos de colagem, as características ambientais do processo que devem ser controladas a fim de se garantir a estabilidade da colagem, além de avaliações da qualidade superficial da madeira usinada para que se atinja a resistência de linha de cola desejada.

O presente trabalho buscou estudar algumas variáveis de processo na produção moveleira do painel *EGP* ( espécie de *Pinus*, teor de umidade, largura das ripas, emendas e tipos de processo de usinagem gerador de acabamento para a colagem) visando avaliar a influência de cada uma delas na busca de melhor estabilidade de colagem, tendo em vista que na maior parte dos trabalhos ligados à produção de painéis de madeira reconstituída o estudo fica restrito da somente à resistência das linhas de cola, aos tipos de adesivos usados visando a busca de melhoria no desempenho mecânico do *EGP*.

Por essa razão, este trabalho propôs avaliar a resistência e a interação madeira-adesivo da linha de cola em painéis de madeira de *Pinus* das duas espécies mais comuns usadas na indústria (*P. elliottii* e *P. taeda*) visando contribuir para determinação dos parâmetros que mais influenciam à obtenção de painéis que atendida à expectativa de qualidade<sup>2</sup> exigida pelo mercado consumidor de móveis.

---

<sup>2</sup> A qualidade dos painéis *EGP* está relacionada à redução da incidência de defeitos observados nos sarrafos que constituem o painel ou ainda a eliminação da baixa resistência mecânica, evidenciada pela presença de tensões que ocasionam deformações e empenamentos ou ainda rompimento das emendas coladas.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar os parâmetros de produção que influenciam na resistência mecânica da linha de cola em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente com adesivo a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as variáveis utilizadas no processo de formação da linha de cola dos painéis de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente.
- Determinar a resistência da linha de cola por meio da técnica convencional (destrutiva) do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, afim de comparar os resultados de duas espécies de madeira.
- Avaliar a influência da anatomia das madeiras de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* na resistência mecânica da linha de cola.
- Avaliar a influência de parâmetros de produção (teor de umidade, rugosidade superficial, espessura da ripa e emenda *finger joint*) na resistência mecânica da colagem.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 SETOR DE BASE FLORESTAL

A área de florestas plantadas no mundo é de 264 milhões de hectares, o que representa 7% de todas as florestas do globo e 22% das florestas destinadas a exploração comercial. Na China, Índia e Estados Unidos se localiza a maior área de plantios de florestas (61%). São 7,8 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais no Brasil, que anualmente contribui com 17% de toda a madeira colhida no mundo, em consequência da alta produtividade dos plantios de árvores no país (IBÁ, 2016).

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2016), em 2015, o setor de base florestal plantada no Brasil movimentou cerca de 69,1 bilhões de reais. No mesmo ano, a área ocupada por plantios florestais totalizou 7,8 milhões de hectares, dos quais 5,63 milhões hectares correspondem a área de plantio de árvores da espécie *Eucalyptus* (72,0%) e 589 mil hectares ao plantio de árvores da espécie *Pinus* (20,7%).

Com base no plantio de *Eucalyptus*, papel e celulose concentram o consumo pela indústria de 71,2% da área plantada, seguidos pelos setores de siderurgia a carvão vegetal (18,4%) e de painéis de madeira (6,8%) (ABRAF, 2016).

No plantio do *Pinus*, além da indústria de papel e celulose (61,1%), as porções mais representativas são para a indústria de painéis de madeira industrializada e o de produtores independentes, que possuem, 20,6% e 13,3% da área total plantada (ABRAF, 2016).

Conforme IBÁ (2016), em 2015, o setor de madeira serrada consumiu cerca de 15.300.000 m<sup>3</sup> de madeira de *Pinus*, que corresponde a 37,54% do consumo total, seguido pelo setor de painéis de madeira com 33,02%, papel e celulose com 19,80% e lenha industrial que totaliza 9,64%.

Nos últimos sete anos, a indústria de serrados e de painéis de madeira apresentou um grande crescimento, devido à concessão de estímulos governamentais concedidos às indústrias de móveis por meio da desoneração fiscal do imposto sobre produtos industrializados (IPI) (ABRAF, 2016). Este acontecimento beneficiou e impulsionou o desenvolvimento do consumo, favorecendo toda a cadeia moveleira e, principalmente, o setor de painéis de madeira (ABRAF, 2016).

Os painéis de madeiras reconstituídas são fabricados com madeira laminada ou em diferentes estágios de desagregação que, agrupadas pela ação de pressão, de temperatura e do uso de adesivos, são novamente agregadas visando à manufatura. A aplicação como substituto

da encarecida madeira maciça em diferentes usos e somada ao benefício ambiental de preservação da mata nativa são as principais vantagens desse tipo de produto. Existem dois tipos de painéis de madeiras usadas pela indústria, os painéis de madeira reconstituída e os painéis de madeira processada mecanicamente (BNDES, 2012).

Segundo o BNDES (2012), o *medium density particleboard (MDP)*, o *medium density fiberboard (MDF)*, o *high density fiberboard (HDF)* e os produtos relacionados com *density fiberboard (SDF)* são os principais tipos de painéis de madeira reconstituída.

Os painéis de madeira processada mecanicamente são produzidos por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça e são representados especialmente pelos compensados e painéis de *EGP*, cuja utilização segue a aplicação dos demais materiais, servindo tanto a indústria de móveis quanto a construção civil.

## 2.2 ESPÉCIES UTILIZADAS PELO SETOR DE BASE FLORESTAL

Conforme o relatório anual da IBÁ (2016), no ano de 2015, 7,8 milhões de hectares foi a área plantada com árvores com intuito comercial pelo Brasil, com crescimento de 2,8% em comparação com o ano de 2014 que foi 7,6 milhões de hectares plantados. Os plantios de árvores de *Eucalyptus* e *Pinus* representam 92,7% desse total, o restante desse percentual fica dividido entre as outras espécies plantadas como acácia, teca, seringueira, araucária, pericá.

Nas regiões Sul e Sudeste do país ocorre a maior concentração de plantio dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, nestas também estão localizadas as principais unidades industriais dos segmentos de painéis de madeira, madeira serrada, siderurgia a carvão vegetal, celulose e papel (IBÁ, 2016).

Entre a Oceania, a Indonésia e Filipinas estão distribuídas as maiores áreas com plantio de árvores do gênero *Eucalyptus* que pertence à família Myrtaceae, a qual apresenta mais de 700 espécies. No Brasil podem ser destacadas as espécies plantadas: *Corymbia citriodora* (*Eucalyptus citriodora*), *E. tereticornis*, *E. urophylla*, *E. grandis* e o híbrido *E. urograndis*, para regiões de clima tropical, enquanto nas regiões temperadas são poucas as espécies adaptadas, dentre elas o *E. dunnii*, *E. benthamii*. (ALVES *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 1999).

Os principais usos do gênero *Eucalyptus* são voltados para a indústria de papel e celulose, lenha industrial e carvão, com consumo nacional de aproximadamente 56.630.000 m<sup>3</sup>, 42.000.000 m<sup>3</sup> e 24.000.000 m<sup>3</sup> no ano de 2015, montante este, decorrente do rápido crescimento e da elevada estabilidade da madeira (IBÁ, 2016).

Segundo Marchiori (2005), a madeira de gênero *Pinus* pertence à família Pinaceae, que é a maior família da ordem Coniferae, do grupo das Gymnospermae. A área de ocorrência natural dessa espécie é na região da Europa, Ásia, América do Norte e Central, incluindo também a região polar até os trópicos. O gênero *Pinus* apresenta cerca de 105 espécies identificadas, que são fisiologicamente resistentes à seca, porém, são muito exigentes em luz.

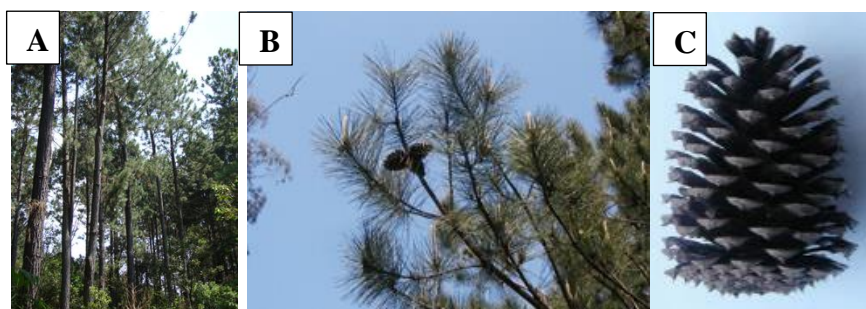
As espécies *P. taeda* e *P. elliottii* são as principais espécies utilizadas em plantios comerciais no Brasil, uma vez que apresentaram rápido crescimento, forte reprodução e fácil aplicação das práticas de silvicultura e de manipulação, assim suprimindo a necessidade de matéria-prima das indústrias madeireiras que utilizam *Pinus* em diversos trabalhos (IBÁ, 2016).

No Sul e Sudeste do Brasil, a espécie mais importante dentre as espécies plantadas comercialmente é o *Pinus taeda*, com cerca de 1 milhão de hectares (PRATA, 2010). O gênero aponta produtividade média de 31,3 m<sup>3</sup>/ha.ano. Segundo Foelkel (2008), a espécie de *P. taeda*, possui como principais finalidades aplicações em indústria madeira, papel e celulose.

No entanto, com relação a 2006, a área plantada com árvores de *Pinus* acumula uma queda de 16,8% em consequência da redução ou estagnação de áreas de plantio na região Sul do Brasil, acarretado, principalmente, pela substituição por espécies do gênero *Eucalyptus* que são flexíveis ao frio e à ocorrência de geadas (IBÁ, 2016).

*P. taeda* muitas vezes é reconhecido como uma espécie invasora, por apresentar uma fácil colonização em áreas abertas, característica esta que predomina em situações, nas quais existe grande produção de sementes, na ausência de predadores de sementes e, principalmente em locais com alta incidência luminosa que favorece a instalação das plântulas e o contato das sementes com o solo (AGUIAR *et al.*, 2011; EMBRAPA, 2014). Na Figura 1 estão apresentadas algumas características gerais da espécie de *P. taeda*.

Figura 1 – Características gerais da espécie de *Pinus taeda*.



Legenda:

A. Aspecto geral da árvore um povoamento plantado.

B. Acículas finas, curtas e ralas, de coloração verde - amarelada a acinzentada.

C. Cone séssil com espinhos proeminentes nas escamas.

Fonte: EMBRAPA, 2014.

Segundo a EMBRAPA (2014), o *P. elliottii* apresenta duas variações: a var. *elliottii*, que ocorre naturalmente no sul dos Estados Unidos, onde é amplamente processada mecanicamente para as indústrias de papel, celulose e extração de resina; e a var. *densa*, que por sua vez ocorre em regiões com temperaturas mais elevadas, baixa altitude, com pequena deficiência hídrica, características estas restritas ao extremo sul da Florida.

No Brasil, o *Pinus elliottii* é a segunda espécie mais plantada desse gênero, ficando atrás apenas do *Pinus taeda*, visto que sua madeira não é usada pela indústria de papel e celulose (EMBRAPA, 2014). Quando comparado com o *P. taeda*, o *P. elliottii* apresenta as seguintes características (Figura 2): exsudação de resina mais abundante pelos cortes e ferimentos na madeira, ramos e acículas; acículas mais densas, longas e de coloração mais escura; cones pedunculados com escama sem espinho.

Figura 2 – Características gerais da espécie de *Pinus elliottii*.



Legenda:

A. Povoamento com 20 anos de idade, desbastado, em Colombo, PR.

B. Acículas longas, densas e verde-escuras.

C. Cone pedunculado e sem espinhos proeminentes nas escamas.

Fonte: EMBRAPA, 2014.

De maneira geral, o *P. elliottii* contém o incremento volumétrico menor do que no *P. taeda*. Contudo, a produção de madeira com valor comercial inicia-se mais cedo, a partir dos sete anos de idade, ao contrário do *Pinus taeda*, que começa a produzir comercialmente entre 12 a 15 anos. Esta característica apresenta um diferencial importante para a produção de madeira, destinada ao processamento mecânico, principalmente pelo fato da madeira de *P. elliottii* apresentar qualidade física e mecânica melhor do que a do *P. taeda* (EMBRAPA, 2014).

A distribuição geográfica dos plantios florestais está ligada diretamente as concentrações das indústrias de transformação da madeira. Isso corrobora a forte ligação entre os recursos naturais e os mercados consumidores. Os plantios de *Pinus*, estão localizados, principalmente, na região sul do país (ABIMCI, 2016).

Segundo ABIMICI (2016), o *Pinus* é comumente direcionado para a indústria de madeira serrada, abastecendo um mercado diversificado de empresas, como as indústrias de papel e celulose, se concentrando nos estados da região sul do país (Figura 3).

Figura 3 – Área florestal plantada das espécies de *Pinus* (Pinaceae) no Brasil.



Fonte: Adaptado de ABIMICI, 2016.

### 2.3 PRODUTOS DE MAIOR VALOR AGREGADO (PMVA)

Segundo Mayer (2007), PMVA são aqueles produtos secundários de madeira que, por meio de beneficiamento, são transformados em outros produtos, de maior valor. O grupo PMVA, é dividido em quatro grandes segmentos: molduras, pisos de madeira, portas de madeira e painéis *EGP* (*Edge Glued Panel*) (PRATA, 2010).

Utilizam-se para a fabricação do PMVA, o *Pinus* e algumas espécies nativas, como imbuia, jatobá, ipê e outras, no entanto, observa-se um crescimento no uso do eucalipto e outras



espécies alternativas. As principais características dessa indústria descritas por Mayer (2007) são:

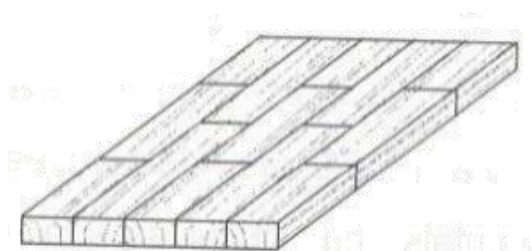
1. Localização geográfica levemente descentralizada;
2. Pouco grau de verticalização (geralmente não tem capacidade econômica financeira para aplicar em florestas próprias);
3. Em geral são grandes unidades de produção e menor número;
4. Mostram investimentos médios em tecnologias;
5. Volume significativo de exportação, porém não se encontram no mesmo nível de desenvolvimento da cadeia produtiva da madeira industrial;

#### 2.4 PAINÉIS EGP

Os painéis de madeira sarrafeada são considerados produtos complexos, uma vez que são obtidos da redução de madeira sólida (*in natura*) formada por peças que buscam o aproveitamento máximo do uso da matéria-prima e são reconstituídos mecanicamente com o auxílio de um agente ligante como, os adesivos (ABRAF, 2016).

*Edge Glued Panel* (EGP – Painel Colado Lateralmente) é um conjunto de peças de madeira coladas lateralmente formando um painel (Figura 4), nos quais os sarrafos madeira podem apresentar união de topo, que pode ser reta ou do tipo *finger joint* (pequenos dentes, com encaixe macho-fêmea, que unem duas peças de madeira).

Figura 4 – Representação esquemática do painel de peças de madeira com colagem lateral e emenda de topo (EGP).



Fonte: ABIMCI, 2009.

A maioria da produção nacional de painéis é feita em madeira da espécie de *Pinus*, apesar de que sejam encontrados painéis colados lateralmente fabricados em madeira de *Eucalyptus* e de outras madeiras oriundas de plantios comerciais (ABIMCI, 2016). O comércio de painéis

*EGP* e de outros produtos de maior valor agregado está diretamente associado às atividades de construção e decoração residencial (CUNHA e MATOS, 2011).

Painéis do tipo *EGP* são utilizados na fabricação de móveis, nos quais geralmente não são aplicadas coberturas (pinturas) ao painel, tendo em conta que o efeito decorativo é feito pelo próprio desenho da madeira ou pelas emendas, mas também são usados na construção civil. É um produto de uma indústria desenvolvida, com restrições de natureza ambiental, dada à redução da disponibilidade de toras de grande diâmetro e de qualidade necessárias para sua fabricação e, também pelo aumento dos custos envolvidos (BNDES, 2012).

A qualidade dos painéis *EGP* está relacionada à incidência de defeitos observados nos sarrafos que constituem o painel, o produto (*EGP*) de baixa qualidade, isto é, na qual o efeito decorativo do desenho da madeira é danificado pelo indício de nó morto ou medula, ou ainda quando o painel apresenta baixa resistência mecânica, que é normalmente evidenciada pela presença de tensões que ocasionam deformações e empenamentos ou ainda abertura das linhas de cola rompendo as emendas coladas (ABIMCI, 2016).

Jones *et al* (2006) e Lopes (2013) citam que as espécies de *Pinus taeda spp e Pinus elliottii* são amplamente utilizadas, devido à rápida capacidade de crescimento, boa empregabilidade nos setores de produção de painéis, possuem características como média densidade, moderada resistência a choques, porém podem ser de difícil colagem.

## 2.5 FATORES QUE INFLUENCIAM NA QUALIDADE DOS PAINÉIS *EGP*

Segundo Reis *et al* (1982), ao contrário das maiorias das causas que influenciam a colagem e seu desempenho, os parâmetros relacionados às características da madeira, várias vezes, não podem ser mudados por causa da sua origem biológica.

### 2.5.1 Microestrutura nas coníferas (gimnospermas)

Segundo Oliveira *et al.* (1999), do câmbio<sup>3</sup> são gerados dois esquemas de especialização: um para as dicotiledôneas<sup>4</sup> (angiospermas) e outro para as coníferas<sup>5</sup> (gimnospermas).

---

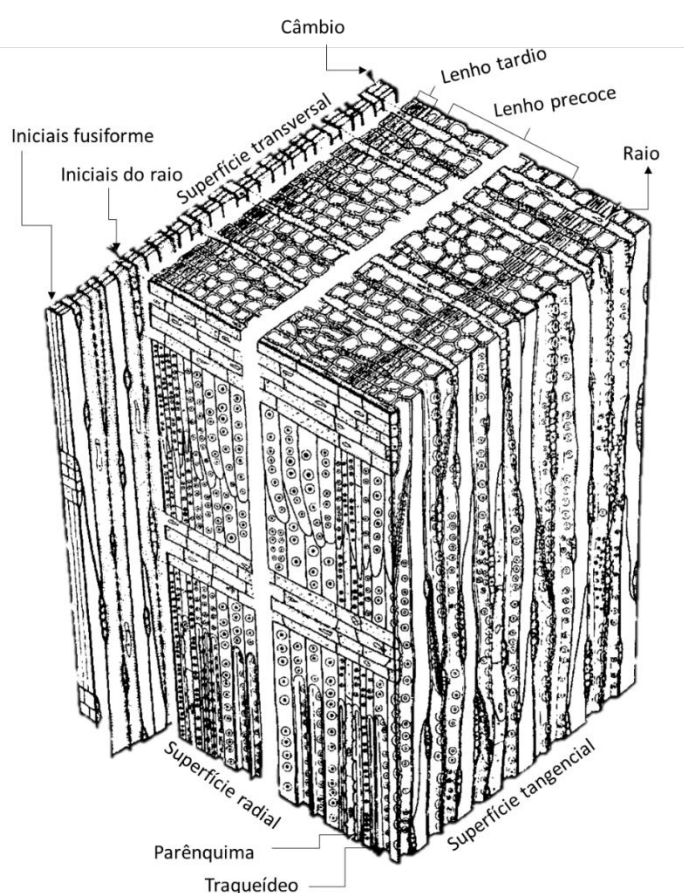
<sup>3</sup> O câmbio vascular é um tecido meristemático que dá origem ao xilema e ao floema secundário, promove o crescimento em diâmetro tangencial de espécies arbóreas (MELO JR., 2012).

<sup>4</sup> Exemplo de árvore dicotiledônea – jacarandá, eucalipto.

<sup>5</sup> Exemplo de árvore conífera - pinheiro-do-paraná, *Pinus*.

As coníferas se caracterizam por duas formações: traqueídeos e raios fusiformes. As células iniciais fusiformes são responsáveis pela formação de todo o sistema axial do caule (fibras, traqueídeos, parênquima axial, e elementos de vaso) e as células iniciais radiais originam o sistema radial (traqueídeo radial, parênquima radial), conforme visto na Figura 5.

Figura 5 – Representação esquemática do lenho das coníferas nos três planos de observação anatômica.



Fonte: Adaptado de MELO JR., 2012.

O xilema secundário é um tecido vegetal formado por uma sequência de atividades mitóticas do câmbio, termo este que é usado para designar a palavra madeira (MELO JR., 2012). De acordo com Fogaça (2014) são estes elementos que determinam a densidade da madeira, cujo elemento é uma das principais características que influenciam a determinação dos parâmetros de colagem.

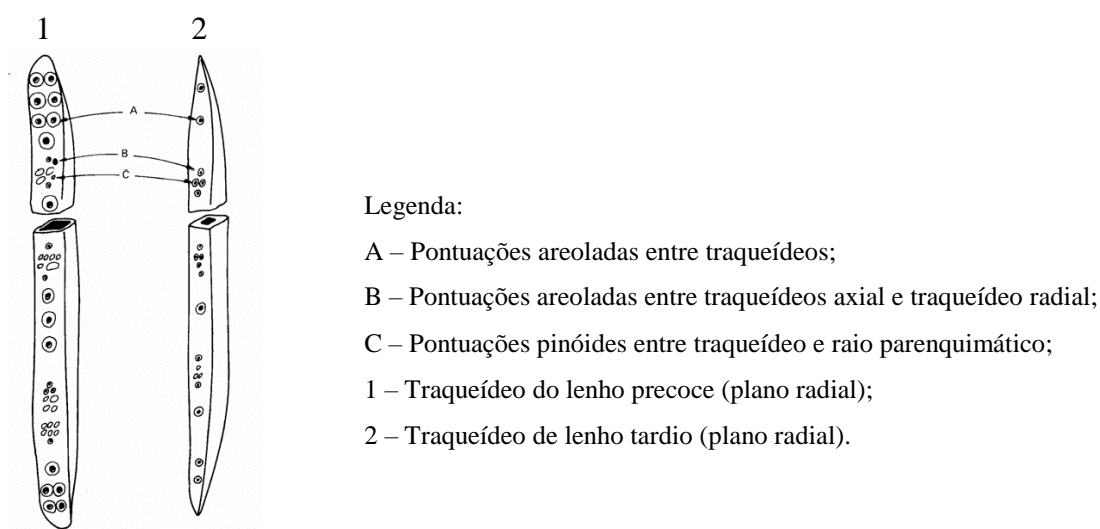
Segundo Hellmeister (1973), os traqueídeos são células alongadas de até 5 mm de comprimento e 60  $\mu\text{m}$  de diâmetro, com seção transversal vazada e extremidades biceladas fechadas. Entre traqueídeos contíguos, na direção vertical, em paredes secundárias, formam se

as passagens que regulam a transição da seiva bruta de uma célula para a seguinte, denominadas estas de pontuações aureoladas.

Os traqueídeos longitudinais e os traqueídeos radiais se comunicam por meio de pontuações simples que são de menor tamanho em comparação à pontuação areolada. Os traqueídeos têm a função de encaminhar a seiva bruta (no albúrnio) e serem depósitos de substâncias polimerizadas (no cerne) e de resistirem às solicitações mecânicas, também podem constituir até 95% da madeira das coníferas (HELLMEISTE, 1973).

De acordo com KLOCK (2000), pode variar o número de pontuações por traqueídeo de 50 a 300 pontuações em traqueídeo de lenho juvenil, enquanto que em traqueídeo de lenho tardio as pontuações são menores. Conforme KLOCK *et al.* (2005), os traqueídeos de lenho juvenil, mostram mais ou menos 200 pontuações areoladas. O diâmetro radial no traqueídeo juvenil é maior, e com o traqueídeo de lenho tardio, as paredes celulares são mais grossas, conforme representado na Figura 6.

Figura 6 – Tipos de traqueídeos do lenho das coníferas



Fonte: Adaptado de Klock, 2000.

De acordo com Siau (1971), a composição volumétrica das coníferas é formada por traqueídeos longitudinais (93%), por raios lenhosos (1%) e canais resiníferos longitudinais (6%).

Klock (1989) descreve que os raios fusiformes são células alongadas e achatadas, com diâmetro bem maior que os traqueídeos e se posicionam horizontalmente da casca à medula.

Os raios fusiformes têm como principal função de conduzir a seiva elaborada da casca para a medula, depositando-a nas regiões do cerne.

As porcentagens citadas anteriormente destacam a importância que os traqueídeos desempenham no fluxo de fluidos nas coníferas. Klock *et al.* (2005) afirmam que o caminho do fluxo dos fluídos nas coníferas escoia de traqueídeo para traqueídeo nas suas terminações finais através dos pares de pontoações, influenciando a permeabilidade da madeira.

### **2.5.2 Propriedades anatômicas da madeira**

A propriedade de resistência mecânica das juntas coladas das madeiras se relaciona com a condição de movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira. Portanto, a ação da anatomia da madeira no funcionamento da colagem está relacionada à porosidade e à permeabilidade (FOGAÇA, 2014; IWAKIRI, 2005).

Nas propriedades anatômicas, as ações sobre o movimento dos adesivos estão simplesmente atreladas à estrutura da madeira, ou seja, na capacidade de penetração (MARRA, 1992).

A porosidade da madeira é conseguinte dos processos de desenvolvimento dos tecidos, como a formação de cerne e alburno e dos lenhos inicial e tardio, nos quais a alteração nas dimensões dos elementos vasculares ao longo do fuste irá conferir características específicas a todo tipo de madeira (ALBUQUERQUE e LATORRACA, 2005)

De acordo com Prata (2010), a maior porosidade da madeira permite que o adesivo penetre com maior facilidade, resultando em determinados casos uma linha de cola “faminta”, caso a madeira seja pouco porosa resultará em uma linha de cola mais “espessa”; contudo em ambos os casos podem comprometer a qualidade de colagem. Neste caso, a porosidade e a permeabilidade da madeira afetam a adesão das juntas coladas (PRATA, 2010).

### **2.5.3 Propriedades químicas da madeira**

De acordo com Klock *et al.* (2005), a composição química da madeira apresenta oscilação entre árvores e até dentro da mesma árvore, também é decorrente da espécie, condições de crescimento, maturidade e dos tipos de tecido da planta.

Quimicamente, a madeira é constituída de componentes dominantes que compreendem a celulose, hemicelulose e lignina, e os componentes inferiores, formados por extrativos e substâncias inorgânicas (cinzas). Esses elementos estão presentes na madeira de coníferas nas

seguintes proporções: lignina, 25 a 35%; hemiceluloses, 20-30%; celulose, 40-45%; cinzas, 0,4%; e extrativos, 3-8% (OLIVEIRA, 2003)

De acordo com Klock *et al.* (2005), alguns constituintes químicos da madeira como extrativos podem prejudicar as reações de polimerização do adesivo na produção de painéis de madeira, principalmente, nos processos de colagem, no consumo de adesivo e na sua taxa de cura.

Espécies com baixa quantidade de extrativos são as mais cobiçadas para produção de painéis de madeira (SANTOS, 2008). Devido à influência direta desses extrativos, a caracterização química da madeira é muito importante em diferentes áreas da indústria de base florestal, como painéis de madeira, papel e celulose e geração de energia de biomassa florestal (IWAKIRI, *et al.*, 2005; KLOCK *et al.* 2005; MARRA, 1992; OKINO, *et al.*, 2006).

#### 2.5.4 Propriedades físicas da madeira

É necessária uma atenção maior às propriedades físicas da madeira, para a produção de painéis de madeira particulada como, os painéis de *EGP*, de forma que o produto não apresente um alto nível de desagregação da madeira, e, portanto, mantenha comportamento similar à madeira sólida (MAYER, 2007).

Muitas são as propriedades da madeira que influenciam o processo de formação dos painéis *EGP*. Estas envolvem aspectos da estrutura anatômica, física e mecânica (HILLIG, 2000). A colagem de peças de madeira é influenciada pela anatomia da planta, a dimensão e a frequência de como as células formam o lenho<sup>6</sup> estão relacionadas com a capacidade da madeira ser permeável (CARVALHO, 2016).

De acordo com Almeida (2013), além da porosidade e presença dos extrativos naturais, a grã da madeira (orientação e paralelismo dos elementos celulares verticais constituintes do lenho em relação ao eixo principal do tronco da árvore ou peças de madeira) reduz a resistência ao cisalhamento da linha de cola quando esta não está paralela às forças de ligação da união e a resistência será maior quando a grã se encontrar na mesma direção da força aplicada.

A textura superficial grosseira da madeira absorve elevada quantidade de cola, resultando numa baixa resistência. Por outro lado, madeira com densidade muito alta e

---

<sup>6</sup> Os principais grupos vegetais que produzem xilema secundário ou madeira são as dicotiledôneas lenhosas e as gimnospermas. O lenho ou madeira das gimnospermas (*softwood*) é relativamente mais simples que o das angiospermas, por ser constituído quase que exclusivamente por traqueídeos e raios (APPEZATO *et al.*, 2006).

superfície muito lisa não possibilitam a interação suficiente do adesivo, resultando em linha de cola bastante fraca (PRATA, 2010).

Entre as propriedades físicas apropriadas à produção de painéis de madeira sólida, pode-se ressaltar a massa específica da madeira, o teor de umidade e os coeficientes de anisotropia e de retratibilidade.

#### a) Massa específica

Influencia diretamente nas propriedades físicas e tecnológicas, auxiliando na prática, como uma referência para classificação da madeira, considerando-se que as demais características físicas e mecânicas da madeira apresentam relação direta a esta.

De acordo com Prata (2010), é comprovado que a utilização de um material está relacionada às suas características, em que uma maior massa específica corresponde quase sempre a maior retratibilidade e resistência mecânica. Portanto, há um elevado grau de correlação entre a massa específica e as propriedades mecânicas da madeira.

A mudança da massa específica depende das mudanças na proporção dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento dessa propriedade pode ser o resultado do crescimento da espessura da parede celular das fibras ou de um aumento no tamanho das fibras em comparação, por exemplo, ao tamanho dos vasos. De forma contrária, um aumento no tamanho de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular, leva à sua redução (OLIVEIRA 2003)

Segundo Marra (1992), a ação da massa específica na colagem da madeira ocorre sob dois aspectos: estabilidade dimensional da madeira e quantidade de vacâncias. Quanto maior a massa específica da madeira, maior será sua variação dimensional, devido às mudanças do seu teor de umidade e dessa forma aumentando a tensão exercida na linha de colagem. De acordo com Bianche (2014), quanto maior a massa específica, mais grossa são as paredes das células e com isso menor a quantidade de espaços (vacâncias) na madeira. A penetração do adesivo será maior em madeiras de baixa massa específica do que em madeiras com alta massa específica (BIANCHE, 2014).

#### b) Teor de umidade

O entendimento da umidade da madeira é fundamental para o bom resultado da produção de painéis de madeira. Conforme Nock e Richter (1978), o adesivo tem tendência a

perder umidade mais rapidamente em lâminas de madeiras com baixo teor de umidade, porque o adesivo tende a penetrar mais na lâmina e se distanciar da linha de cola. Nas madeiras de coníferas, teor de umidade situado entre 8 e 10%, pode também ser considerado melhor para colagem de topo por junções *finger joint* com fim estrutural (RAKNES, 1982).

Iwakiri *et al.* (2005) descrevem que o teor de umidade da madeira deve ser abaixo de 20% para que ocorra a interação do adesivo com o substrato, quanto menor for esse teor de umidade mais estável será a linha de cola.

Segundo Raknes (1982), outra situação restritiva, acontece com madeiras coladas com um teor de umidade alto (> 20%), subsequentemente, causarão tensões nas linhas de cola. Juntas coladas com madeira verde úmida, tiveram redução na qualidade da linha de cola. De acordo com ensaios de flexão estática e percentual de falha, os resultados obtidos mostram que na madeira seca, o resultado é melhor do que na madeira úmida (AMOAHA *et al.*, 2014; ST-PIERRE *et al.*, 2005).

### c) Retratibilidade da madeira

Segundo Prata (2010), o nível de anisotropia da madeira mostra uma das características mais relevantes à produção de painéis *EGP*, uma vez que as interferências dos fatores citados anteriormente podem provocar altas tensões nos painéis, afetando a estabilidade dimensional e as propriedades mecânicas do mesmo. Durante e após a cura do adesivo, ocorrem as variações de tamanho, que podem contribuir para a deterioração das ligações adesivas perante a alterações de umidade, por incluírem tensões altas nas juntas coladas.

Em consequência da contração da madeira, ocorre um desacerto na ligação adesiva. Na madeira úmida, as rachaduras são menos evidentes do que na madeira seca. No processo de inchamento da madeira acontece o enfraquecimento da junção dos substratos, que é visivelmente demonstrado pelo aumento frequente do percentual de falha.

## 2.5.5 Características da colagem e do adesivo

O adesivo tem como função fluir e preencher os espaços entre as juntas coladas, gerando desta forma a interação adesivo-substrato. Dentre os mecanismos de adesão, a ligação entre a madeira e a cola pode ser explicada por algumas teorias: as ligações químicas, as mecânicas e as químico-mecânicas. Contudo, nenhuma delas é capaz de justificar como ocorre a aderência em materiais tão anisotrópicos quanto a madeira (BIANCHE, 2014).



Segundo Prata (2010), as teorias mais importantes são o ancoramento mecânico e a adsorção. Na primeira, a penetração do adesivo forma entrelaçamentos mecânicos com o material poroso após a cura e endurecimento do adesivo. Na teoria de adsorção, a adesão é resultante do contato das moléculas dos dois materiais formando então forças de atração na superfície do material a ser colado. Neste caso, para que ocorra o contato contínuo e íntimo entre o adesivo e a madeira, é essencial que o adesivo umidifique o substrato. Esse processo envolve a migração do adesivo para dentro da estrutura molecular da madeira, expulsando a água e outros agentes existentes dentro da estrutura molecular.

O umedecimento da madeira é influenciado por outros agentes, como a natureza molecular do adesivo empregado, o tempo de contato, a qualidade da superfície usinada, a pressão de prensagem e o tempo disponível para a imobilização do adesivo por meio da sua cura. Segundo Motta *et al.* (2014), o aprimoramento e domínio dessas técnicas são determinantes para o sucesso da colagem.

O avanço do estudo químico das ligações inerentes aos processos de colagem, auxiliam no incremento de qualidade e no desenvolvimento de novos adesivos para o uso em diferentes tipos de madeiras (Lima *et al.*, 2008).

Para estes processos de colagem, são utilizados adesivos termo fixos que são aqueles que possuem juntas rígidas e curam pela ação do calor ou do catalisador, enquanto termoplásticos são aqueles que secam pela evaporação do solvente (normalmente água) e resultam em uma colagem de baixa resistência térmica e à umidade.

De acordo com Lopes *et al.* (2013), os adesivos sintéticos com maior destaque na indústria brasileira são os adesivos poliacetato de vinila (PVA) e mais recentemente os adesivos poliuretanos (PU).

O poliacetato de vinila ou acetato de polivinila é o adesivo termoplástico mais utilizado para a colagem de madeira atualmente e a sua polimerização resulta em dispersão aquosa do acetato de vinila (GARCIA e RECH, 2011). As principais vantagens desse material são o baixo custo, a alta estabilidade, o fácil manuseio e a rápida secagem. A estabilização desse material ocorre pela perda de água por difusão da película adesiva na madeira, pois ao elimina-la, a estrutura química se une formando a linha de cola. Pela característica plástica da película formada, existe uma baixa variação dimensional da superfície colada.

Os adesivos poliuretanos apresentam excelentes propriedades de adesão, com boa resistência química, flexibilidade, alto desempenho em baixas e altas temperaturas, podendo ser curados de forma rápida ou lenta. Por outro lado, suas principais desvantagens são o alto custo, limitada estabilidade térmica e necessidade de mistura (LOPES *et al.*, 2013).

Para esse adesivo, o processo de colagem ocorre em duas fases, inicialmente advém de uma mudança do estado físico, de líquido para sólido, no qual o mesmo assume um comportamento termoplástico, logo então o grupo químico isocianato reage com as hidroxilas presentes na madeira juntamente com a umidade do meio, produzindo uma estrutura reticular que se assemelha a um adesivo termorrígido (GARCIA e RECH, 2011).

Segundo Almeida (2013), na fabricação dos adesivos poliuretanos são utilizados os poliisocianatos e compostos de polioliol, que na grande maioria são derivados do tolueno diisocianato (TDI), do difenilmetano diisocianato (MDI) e do polimetileno polifenil poliisocianato (MDI polimérico ou pMDI).

Quando ocorre a emulsificação do polímero de difenilmetano-diisocianato (MDI) em água, é formada a emulsão polimérica de isocianato (EPI), que deve ser ativada pelo catalisador.

A emulsão polimérica de isocianato (EPI) é um adesivo bicomponente que se destaca pela excelente aceitação nos processos produtivos. Desenvolvido do poliacetato de vinila e do isocianato polimérico (difenilmetano-diisocianato – MDI), sendo este último responsável por catalisar a cura do adesivo, uma vez que este ocorre por meio da reação dos grupos de isocianatos com as hidroxilas da estrutura da madeira (LOPES *et al.*, 2013).

O adesivo EPI apresenta uma colagem forte, resistência ao calor, cura rápida e não gera emissão de formaldeídos e outros gases nocivos, sendo este um dos principais motivos para sua boa aceitação em toda a América do Norte e Europa, ainda como vantagens apresenta elevada resistência à umidade e a possibilidade de colagem de matérias diferentes da madeira, como por exemplo, plástico. As principais desvantagens estão relacionadas ao alto custo e necessidade de mistura (LOPES *et al.*, 2013).

## **2.5.6 Características do processo de produção de painéis**

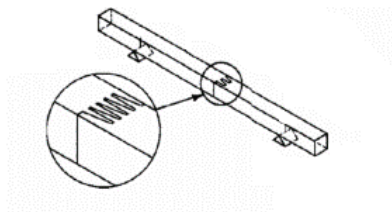
### *2.5.6.1 Preparos da madeira para produção dos painéis de EGP*

O processo de *finger joint* surgiu da necessidade de otimizar a matéria prima na indústria, usando pequenos pedaços de madeira que antes eram descartados, com esse tipo de junção (*finger joint*).

Segundo Molina *et al.* (2016), *finger joint* são juntas dentadas em forma de dedos (em forma de macho e fêmea), que são frequentemente utilizadas para a junção longitudinal de sarrafos (Figura 7). Novas superfícies de colagem são criadas com essa técnica, deixando assim as colagens mais resistentes.

As junções dentadas podem conseguir resistência de pelo menos 75% da resistência da madeira sólida de muitas espécies, porém se feita adequadamente (MARTINS, 2011).

Figura 7 – Desenho esquemático representando a emenda do tipo *finger joint*.



Fonte: Adaptado de ASTM 5572, 2006.

Para melhorar o desempenho nas junções *finger joint* deve ser considerada a geometria das junções da superfície colada (BARBOUTIS e VASILEIOU, 2013; FOLLRICH *et al.*, 2010), visto que as junções dentadas não estruturais, tem dentes curtos com pontas largas, o oposto das junções com geometria destinada ao uso estrutural, que apresentam dentes mais compridos e pontas mais finas (JOKERST, 1981).

O fator mais importante para direcionar o uso da peça colada, é a geometria de dente das junções *finger joint*. Neste caso, o aumento do comprimento do dente resulta em um aumento na resistência da junção aos esforços de flexão estática e tração paralela (BARBOUTIS e VASILEIOU, 2013; SERRANO, 2009). Contudo, Kumar *et al.* (2010) perceberam que por causa de compressão, as junções compostas por dentes de ponta mais fina apresentaram resultado abaixo ao alcançado em *fingers* com dentes mais largos.

Do mesmo jeito que a geometria das junções coladas, o acabamento externo das peças coladas é muito importante, pois algum erro na superfície da madeira ondulações ou depressões afetam a colagem por estragar parcialmente ou totalmente os elementos anatômicos (TIENNE, 2006), os quais são os pontos de interação entre madeira e adesivo.

Follrich *et al.* (2010) observaram que em relação à rugosidade das junções coladas, amostras com superfícies mais rugosas, tem mais resistência de colagem, e que a geometria dos dentes de *finger joint* é um atributo que aumenta a superfície de colagem e assim facilita a ligação mecânica entre adesivo e a superfície da madeira.

Porém, dependendo da topografia da superfície e do seu aspecto, como, superficiais imperfeições e aspereza, por exemplo, podem diminuir o grau de aproximação de duas peças a serem coladas, prejudicando as funções de movimentação do adesivo, reduzindo a resistência de colagem (MAYER, 2007; OZÇIFÇI e YAPICI, 2007).

Os painéis de *EGP* são caracterizados como sendo um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente. Como o próprio nome do painel sugere, são normalmente montados por peças (sarrafos), preferencialmente sem defeitos. A madeira seca é submetida à processos de usinagem, afim de se obter sarrafos com dimensões e espessuras semelhantes. Os sarrafos podem apresentar junções planas ou do tipo *finger joint*. A montagem do painel inicia com aplicação do adesivo e então, são dirigidas para a prensagem. A prensagem pode ser feita por prensas à frio, do tipo carrossel ou por prensas de alta frequência (BIANCHE, 2014; LOPES, 2008; PRATA, 2010).

### 2.5.7 Condições de uso do produto colado

Os adesivos utilizados em junções coladas têm duas funções fundamentais. A primeira, é manter unidos os elementos colados, e a segunda é transmitir de forma equivalente a tensão na linha de cola para os elementos colados (PRATA, 2010).

É de extrema importância o emprego de adesivos adequados, para um bom desempenho de colagem, de acordo com as condições ambientais onde o produto colado irá ficar, principalmente, nos casos onde as condições se caracterizam por variações cíclicas de alta e baixa umidade (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos precisam ser indicados de acordo com a finalidade e o ambiente que será exposto, ressalta Vick (1999). Os adesivos mais simples como amido, *Hot melt* (adesivo composto sólido granulado que torna-se fluído sob temperatura elevada) e Polivinil acetato (PVA) são indicados para uso interno e não estrutural.

Os adesivos naturais a base de caseína ou adesivos sintéticos ureia-formaldeído (UF), podem ser utilizados nos casos de uso estrutural em ambiente interno. Em casos de exposição reduzida, há a necessidade de utilizar os adesivos sintéticos de maior resistência à umidade, por exemplo, os adesivos de epóxi, isocianatos e melanina-ureia-formaldeído (MUF).

## 2.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS JUNTAS COLADAS EM PAINÉIS *EGP*

O intuito de testar o desempenho do adesivo é para garantir que as junções coladas não vão apresentar nenhum tipo de deterioração e atendam aos objetivos esperados após a colagem. Normalmente, esses testes procuram avaliar como se comportarão as junções coladas em um carregamento específico (VICK, 1999).

A maioria desses testes de resistências de juntas coladas preveem simular as piores condições de uso de cada produto, assim também como as piores condições ambientais de transporte e acomodação (ALMEIDA, 2015).

De acordo com os estudos de Prata (2010), para avaliar a qualidade da colagem de painéis *EGP* formados com madeiras de espécies de *Pinus* tropicais são usadas as normas EN 13353 (2008) e ASTM D5572 (2006).

A norma EN 13353 (2008), especifica que a resistência dos corpos de prova deve ser igual ou superior a 2,5 MPa. Enquanto, a norma ASTM D5572 (2006) apresenta uma classificação de desempenho especificando a condição de uso. Para uso a seco, o valor resultante da flexão estática deve ser 13,8 MPa.

Nos estudos realizados por Prata (2010), os painéis com colagem lateral da espécie *Pinus taeda* e adesivo PVAc apresentaram valores médio de resistência à tração paralela às fibras de 24,5 MPa.

Nos estudos realizados por Lopes (2013), a resistência ao cisalhamento na linha de cola descrito pela norma europeia EN 205 (2002), em painéis produzidos de madeira *Pinus elliottii* com adesivo PVAc, apresentaram resultados médios de 5,5 MPa. Enquanto, nos painéis de *Pinus taeda*, a resistência ao cisalhamento da linha de cola foi de 7,20 MPa.

Segundo Prata (2010), a resistência média da colagem lateral apresentada em seus estudos para a espécie de *Pinus taeda* foi de 2,28 MPa, valor acima dos encontrados por Reis *et al.* (1982).

Para espécies de *P. elliottii* e *P. taeda*, a norma ABNT NBR 7190 (1997), apresenta uma média da resistência ao cisalhamento de 7,4 e 7,7 MPa.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi desenvolvido na Empresa de Móveis Rudnick S.A., nas unidades Fábricas 2 e 5, localizada no município de São Bento do Sul, Santa Catarina.

No desenvolvimento das atividades experimentais, a cola à base de emulsão polimérica de isocianato e as amostras das madeiras das espécies de *P. elliottii* e *P. taeda* foram inicialmente caracterizados e formados os painéis com colagem lateral e emendas do tipo *finger joint* para avaliação do comportamento da colagem e resistência mecânica das emendas.

#### 3.1 OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS DE MADEIRAS

As madeiras utilizadas no estudo foram das espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, provenientes de dois plantios comerciais das empresas Laminados AB e Madevali Agroindustrial Ltda.

A empresa Laminados AB possui oito fazendas reflorestadas com *Pinus*, eucalipto e araucária, e mais 19 fazendas no regime de parceria com *Pinus* e outras espécies, que estão espalhadas no estado de Santa Catarina nos municípios de Calmon, Caçador, Lebon Régis, Matos Costas, Porto União, Luzerna e Água Doce. A empresa conta com uma produção anual de 122.830,17 m<sup>3</sup> de madeira cortada da espécie de *Pinus taeda*.

O material recebido é proveniente da Fazenda Goiabeira, propriedade da Empresa Laminados AB Ltda (coordenadas geográficas 26°40'54,38" S e 50°50'06,85" W).

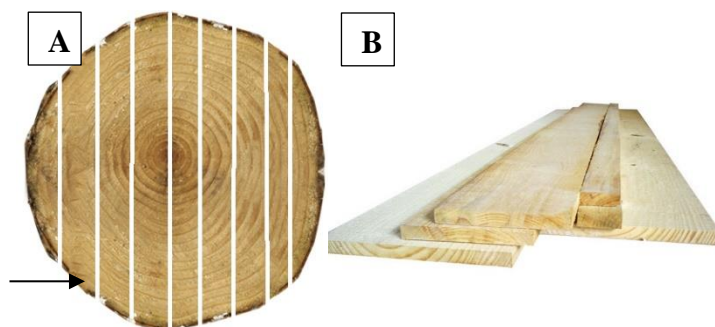
A empresa Madevali Agro Industrial Ltda foi fundada em 26 de janeiro de 1977. A área de atuação da empresa compreende a Mesorregião Oeste Catarinense. Dentre os objetivos do manejo florestal da Madevali está a produção de toras e toretes de *Pinus* das espécies *elliottii* e *taeda* para sua unidade industrial e outras indústrias de transformação da região. A unidade de manejo florestal da empresa possui uma área total de 3.502,78 hectares com área de produção de 1.545,34 hectares.

O material recebido é proveniente das plantações florestais, localizadas na região de Caçador, em Santa Catarina (coordenadas geográficas 26°44'22,08" S e 51°14'59,50" W).

As madeiras fornecidas pelas duas empresas utilizadas possuem condições paramétrica similares, a idade de corte das árvores, foi de 15 anos. O corte das toras realizado pelas empresas foi no sentido tangencial (Figura 8), uma vez que este é o modo mais usado nas indústrias

madeiras, devido ao melhor aproveitamento da matéria-prima. O diâmetro na altura do peito<sup>7</sup> (DAP) foi de 20 a 35 cm.

Figura 8 – Representação do corte de longitudinal tangencial madeira e tábuas de *Pinus* utilizadas no estudo.



Legenda:

- A. Representação da tora de madeira de *Pinus* com corte tangencial (a seta indica o corte longitudinal tangencial da madeira).  
 B. Tábuas de madeira de *Pinus* com corte tangencial usadas no estudo.

No processo de secagem realizado pelas empresas, as madeiras foram acondicionadas em estufa em três estágios: 45 °C (24 h), 50 °C (24 h) e 60 °C (24 h). Os lotes foram processados em estufa da marca Mahild, com ventilação forçada (2,0 a 4,0 m/s), até obtenção do produto final com teor médio de umidade de 12%, monitoradas, por um sistema de controle para madeira Hydromat TK-MP 301 - marca GANN Mess.

Na Tabela 1, estão apresentadas as características das madeiras utilizadas na preparação dos painéis *EGP*.

Tabela 1 – Especificações do fornecimento e identificação das madeiras usadas no estudo.

Especificações das madeiras		
<b>Empresa</b>	Laminados AB Ltda	Madevali Agro Industrial Ltda
<b>Espécie da árvore</b>	<i>Pinus taeda</i>	<i>Pinus elliottii</i>
<b>Recebimento do lote</b>	31/03/2017	08/02/2017
<b>Descrição do produto</b>	Madeira de <i>Pinus</i> seca e serrada bruta - 1 <sup>a</sup> e 2 <sup>a</sup> – 25 mm de espessura	Madeira de <i>Pinus</i> serrada bruta, seca em estufa, bica corrida <sup>1</sup> - 25 mm

<sup>1</sup> compreende todo o produto da tora exceto as peças inaproveitáveis de acordo com NBR 12498 (2017).

<sup>7</sup> Diâmetro do tronco de uma árvore medido sobre casca a 1,30 m do solo.

O lote para investigação foi de 10 m<sup>3</sup>, seguindo diretamente determinada pela ABNT NBR 7190 (1997), no qual o lote de madeira serrada considerado homogêneo não deve ter volume maior que 12 m<sup>3</sup>. De cada lote recebido na empresa para investigação, foram retiradas 100 ripas para cada espécie de *Pinus*, ambas com medidas de 1000 x 68 x 25,4 mm, essas quantidades superaram o requisito mínimo estabelecido pela norma ABNT NBR 7190 (1997) de 12 corpos de prova para cada espécie.

Essas madeiras foram submetidas ao processo de fabricação normal da empresa Móveis Rudnick S.A., formando painéis utilizados para a produção de móveis para exportação.

Para a realização das colagens dos painéis, foram utilizadas o adesivo EPI 1975 e o catalisador isocianato 1993 da marca Akzo Nobel, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Especificações técnicas do fornecedor para o adesivo e catalisador utilizados no processo de formação dos painéis *EGP*.

Especificação da cola		
<b>Produto</b>	Adesivo EPI - 1975	Catalisador isocianato -1993
<b>Apresentação</b>	Líquido	Líquido
<b>Cor</b>	Branca	Marrom
<b>Viscosidade</b>	7000 - 20000 mPas ( <i>Brookfield</i> LVT, sp. 4, 6 rpm, 25°C )	Aprox. 150 - 450 mPas ( <i>Brookfield</i> LVT, sp. 2, 30 rpm, 25°C )
<b>pH</b>	5,5 – 8,5 (25°C / 77°F)	Não apresenta
<b>Densidade</b>	Aprox. 1290 kg/m <sup>3</sup>	Aprox. 1240 kg/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado do manual técnico Akzo Nobel LTDA.

A mistura do adesivo com catalisador forma a cola que possui um sistema com desempenho melhorado, pois gera alta temperatura na linha de cola, podendo ser usados em prensas HF (sigla da palavra em inglês *high frequency*) com potência e tempos de prensagem substancialmente mais baixos quando comparados a outros adesivos usadas nas indústrias de painéis de madeira.

### 3.2 PROCESSOS DE PRODUÇÃO PARA FORMAÇÃO DOS PAINÉIS *EGP*

Na produção dos painéis, foram empregadas seis etapas que seguiram o processo de produção da empresa Móveis Rudnick. Na Etapa 1, a madeira foi recebida e acondicionada em um depósito com temperatura de 22 °C e umidade controlada de aproximadamente 12 %.

Na Etapa 2, a madeira foi usinada por meio de processo mecânico de remoção de material em três diferentes tipos de processo (moldureira, lixa e serra), produzindo peças com as faces acabadas, com dimensões finais de 60 mm e 45 mm de largura (50 ripas para cada dimensão) e



25 mm de espessura para as duas espécies de madeira (50 ripas para cada lote de *Pinus*). Nesta etapa, foram usadas máquinas e ferramentas, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações gerais das máquinas, ferramentas e parâmetros de usinagem usados na formação dos painéis *EGP* do presente estudo.

<b>Especificações gerais das máquinas, ferramentas e parâmetros de usinagem</b>				
<b>Tipo da máquina</b>		Plaina Moldureira	Lixadeira banda larga	Serra Circular
<b>Marca comercial</b>		SCM – Tecmatic	SCM – Tecmatic	Invicta
<b>Modelo</b>		Superset Class 23	Modelo 1.100	TB25
<b>Modelo da ferramenta</b>		Faca perfilada reta	KP52F Antistatic	WK 850
<b>Características das ferramentas</b>	<b>Número de Grupos</b>	6 cabeçotes	2 lixas (grão 80 e 120)	2 serras
	<b>Material</b>	HW	Grão de óxido de alumínio	HW
	<b>Diâmetro (D)</b>	180 mm	2500 mm	300 mm
	<b>Número de dentes (Z)</b>	4	n.a	96 WZ
	<b>Altura de corte (d)</b>	75 mm	2 mm	20mm
<b>Parâmetros de usinagem</b>	<b>Face de usinagem</b>	4	1	1
	<b>Rotação (n)</b>	5500 rpm	1300 rpm	3000 rpm
	<b>Avanço (a)</b>	3 mm	n.a	0,10 mm
	<b>Velocidade de avanço (vc)</b>	45 m/min	5 m/min	10 m/min

Legenda das siglas usadas na caracterização das ferramentas e nos parâmetros de usinagem:

a – Avanço por dente (mm).

d – Altura de corte (mm).

D – Diâmetro da ferramenta (mm).

HW – Metal duro (carboneto de tungstênio).

n – Rotação por min (rpm).

n.a – Não aplicado.

vc – Velocidade de avanço (m/min).

wz – Característica do formato do dente da serra – tipo alternado.

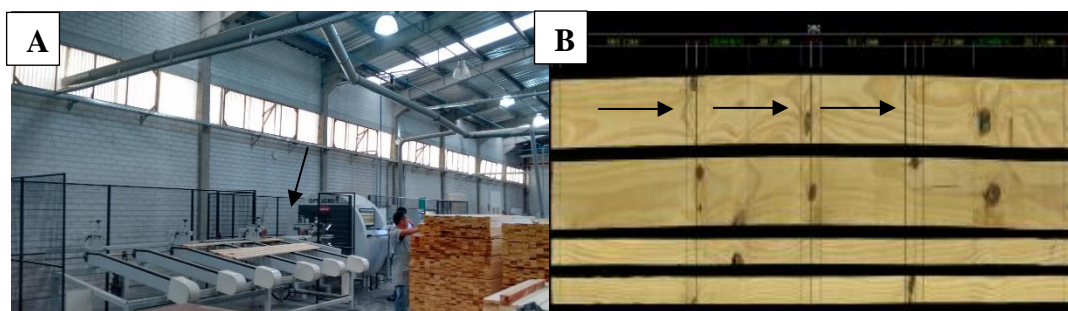
z – Número de dentes.

Os parâmetros de usinagem, as máquinas e ferramentas empregadas nesta etapa, seguiram os padrões adotados no processo produtivo normal usado da empresa Móveis Rudnick S.A.

Na Etapa 3, as ripas foram uniformizadas em máquina otimizadora de corte (Figura 9), que faz leitura da ripa por meio de *scanner*, com intuito de identificar os nós e depois efetuar cortes no sentido longitudinal, deixando a madeira isenta de defeitos<sup>8</sup> e com comprimento de ripa de 600, 300 ou de 150 a 75 mm. As duas primeiras medidas foram usadas para a produção de painéis *EGP* somente com colagem lateral e a última variação de medida foi usada para a fabricação de painéis com emendas de topo tipo *finger joint*.

<sup>8</sup> Para a produção de painéis de madeira colada, o termo defeito significa que a madeira possui alguma variação física ou anatômica indesejada, como por exemplo, nós, rachaduras, veios indesejados, medula, etc.

Figura 9 – Processo de corte em máquina otimizadora e seleção das ripas em *scanner*.



Legenda:

- A. Entrada madeira na máquina otimizadora de corte (a seta indica a entrada de alimentação da máquina).  
 B. Seleção da madeira por meio de *scanner* (as setas indicam local na ripa onde será efetuado o corte para descarte do pedaço indesejado).

Na Etapa 4, as ripas foram selecionadas visualmente e organizadas em pilhas, de acordo com o sentido dos anéis de crescimento, vistos no topo de ripa (Figura 10 A). A seleção e reorganização foram realizadas visando reduzir a força que as tensões dos anéis de crescimento podem gerar no painel durante e após a colagem (Figura 10 B).

Figura 10 – Pilhas de ripas preparadas para o processo de aplicação de cola e prensagem.

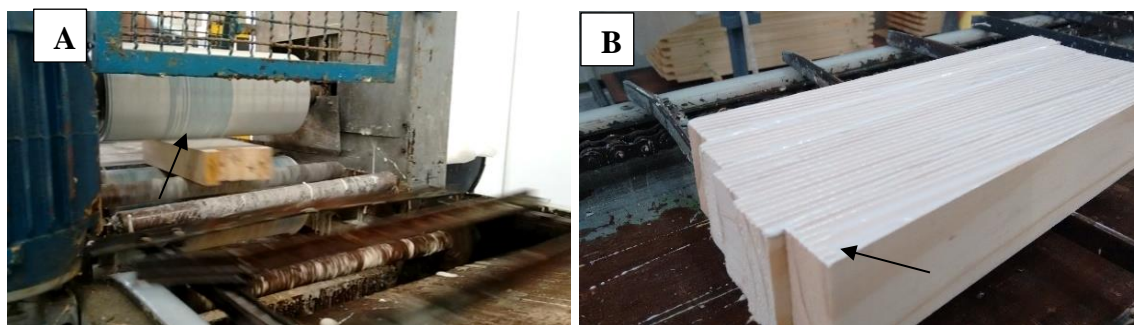


- A. Empilhamento das ripas de madeira após o processo de corte na otimizadora.  
 B. Organização das ripas a partir da orientação dos anéis de crescimento (as setas indicam a diferença no sentido de empilhamento dos anéis de crescimento).

Na Etapa 5, foi efetuada a aplicação de cola nas ripas para a fabricação dos painéis *EGP* (Figura 11). Nesta etapa as ripas receberam uma cobertura de cola com gramatura de  $220 \text{ g/m}^2$ . Foi empregada a proporção de mistura de cola EPI 1975: 100 partes por peso e de catalisador 1993: 10 partes por peso conforme descrito pelo manual técnico do fornecedor, utilizando um misturador automático.

O tempo ciclo da etapa de prensagem foi de 89 segundos, seguindo o padrão utilizado pela empresa na formação dos painéis *EGP*. No momento da aplicação da cola ( Figura 11), a temperatura ambiente foi de  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ , a umidade relativa do ar 72% e a temperatura da madeira de  $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Figura 11 – Aplicação do filme de cola nas ripas de madeira.



Legenda:

- A. Entrada da máquina para aplicação de cola (a seta indica o rolo ranhurado dosador/aplicador de cola).  
 B. Peças com filme de cola (a seta indica o filme de cola sobre a peça de madeira com gramatura de 220 g/m<sup>2</sup>).

Após o processo de aplicação de cola, os painéis foram montados na base da mesa da prensa de alta frequência. Logo em seguida, as peças foram inseridas na máquina, recebendo pressão dos pratos laterais de 40 BAR e superiores de 100 BAR. A temperatura por ciclo foi de 89 segundos, finalizando assim, a Etapa 6 do processo de fabricação dos painéis (Figura 12).

Figura 12 – Processo de prensagem em alta frequência das ripas para formação dos painéis.

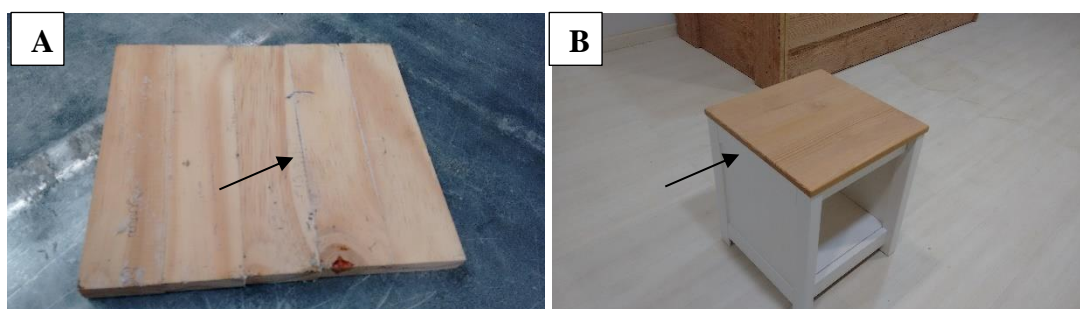


Legenda:

- A. Montagem manual dos painéis na entrada da máquina.  
 B. Saídas dos painéis da prensa alta frequência.

Após a formação, os painéis foram acondicionados em ambiente climatizado por um período de 5 dias antes de seguirem para os processos de usinagem e confecção dos corpos de prova. Na Figura 13, estão apresentadas as imagens do painel *EGP* na saída da prensa HF, antes de seguir para o processo de usinagem (Figura 13 A) e o painel *EGP* na condição final de uso, aplicado no produto (Figura 13 B).

Figura 13 - Painéis *EGP* produzidos.



Legenda:

- A. Painel *EGP* na saída da prensa HF – padrão 300 x 300 mm com 4 linhas de cola, antes de seguir para o processo de usinagem (a seta indica uma linha de cola).
- B. Painel *EGP* na condição final de uso, aplicado no produto (a seta mostra um painel sobreposto em um tampo de criado mudo).

### 3.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental foi realizado a partir da análise do processo de fabricação. As variáveis selecionadas foram aquelas que mesmo dentro do processo padronizado utilizado pela empresa, ocasionavam alguma variação no controle de qualidade do painel *EGP* durante o processo de produção, sendo:

1. Espécie de madeira - (2 espécies de *Pinus* – *P. elliottii* e *P. taeda*).
2. Tipo de corte – Tangencial.
3. Umidade da madeira (8 e 15%).
4. Processo de usinagem (lixa, moldureira, serra).
5. Dimensional das peças (largura da ripa- 45 e 60 mm).
6. Colagem lateral ou *finger joint*

Na Tabela 4, estão apresentadas as variáveis selecionadas no processo para o estudo experimental.

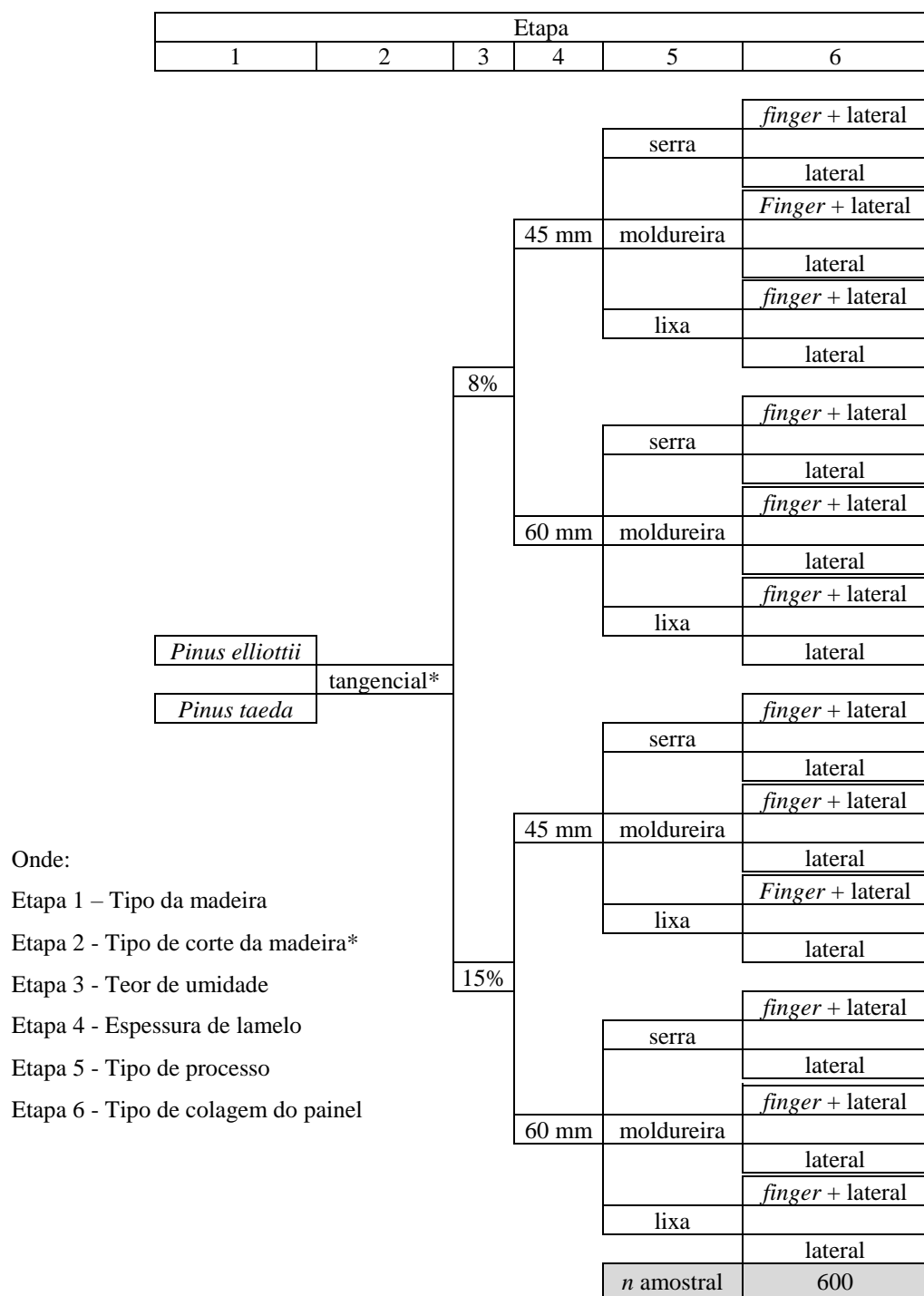
Tabela 4 – Variáveis analisadas do processo de formação dos painéis *EGP*

<b>Etapa</b>	<b>Processo</b>	<b>Variáveis do processo</b>	<b>Variáveis selecionadas</b>
1	Recebimento e estoque da MP	Espécie de madeira (2 espécies <i>Pinus - elliotii e taeda</i> ) Tipo de corte (Radial e tangencial) Temperatura de Acondicionamento (21° C) Umidade da madeira (5 a 18%) Acondicionamento (forma de empilhamento) Características do lote (idade do exemplar, posição na estrutura da árvore, condição de desenvolvimento)	1. Espécie de madeira - ( <i>P. elliotii e P. taeda</i> ) Tipo de corte – <u>Tangencial*</u> 2. Umidade da madeira - ( <u>8 e 15%</u> )
2	Processo de usinagem	Processo de usinagem (lixa, moldureira, serra) Dimensional das peças (esquadro, largura da ripa) Qualidade superficial (rugosidade, acabamento)	3. Processo de usinagem - ( <u>lixa, moldureira, serra</u> ) 4. Dimensional das peças - ( <u>largura da ripa- 45 e 60 mm</u> )
3	Otimizadora de corte	Defeitos da madeira (nós, trincas, rachaduras, medulas, empenamentos e tensões) Otimização de corte (comprimento da ripa)	Defeitos da madeira - ( <u>nós, trincas, rachaduras, medulas, empenamentos e tensões</u> ) **
4	Preparação dos painéis	Acondicionamento das peças Organização de acordo com anéis de crescimento Colagem lateral ou <i>Finger joint</i>	5. Colagem ( <u>lateral ou <i>finje joint</i></u> )
5	Aplicação de cola	Temperatura e umidade (ambiente e madeira) Acondicionamento da cola Catalise Tempo em aberto Aplicação Gramatura	
6	Prensagem em HF	Tempo de prensagem Pressão dos pratos (lateral e superior) Temperatura	

Tipo de corte\* e Defeitos da madeira\*\* foram descartadas das variáveis selecionadas porque foram adotadas como critério de igualdade nas duas espécies de *Pinus*

A partir das informações da Tabela 4, foi desenvolvido um delineamento experimental, descrito no fluxograma da Figura 14. Para determinação do número de amostras, foi utilizada a probabilidade referenciada na NBR 7190 (1997), com  $n$  amostral de 25 cp em cada variação da etapa 6.

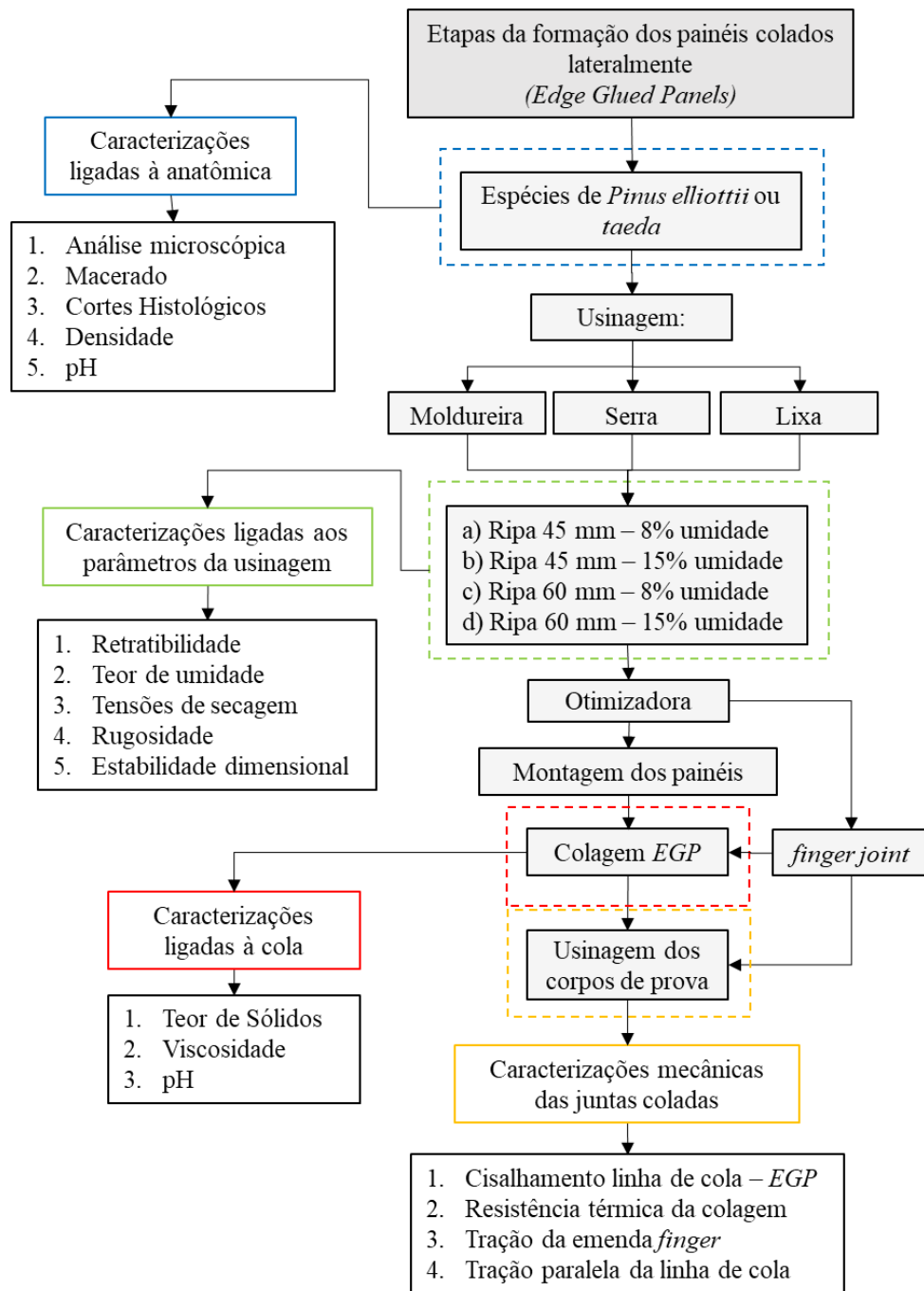
Figura 14 – Delineamento das 6 etapas do processo experimental usado no estudo.



\*Tipo de corte (tangencial) foi mantido como critério orientativo

Com o delineamento experimental definido, foi elaborado um fluxograma das etapas envolvidas no estudo, conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma representativo das etapas utilizadas na formação dos painéis *EGP* de *Pinus* demonstrando as etapas de caracterização e experimentos realizados.





### 3.4 ANÁLISE ANATÔMICA DAS MADEIRAS

O estudo foi desenvolvido com madeiras das espécies de *P. elliottii* e *P. taeda* e as análises foram realizadas de forma macroscópica e microscópica por meio dos cortes histológicos e de material macerado. Para isso, foram confeccionados 25 blocos madeira de cada espécie com dimensões de 25 x 25 x 25 mm.

De acordo com os parâmetros macroscópicos, foram analisadas as características organolépticas e alguns caracteres gerais de identificação: descrição dos anéis de crescimento, definição de cerne e alborno, cheiro, textura, desenho, cor e grã da madeira.

Para as análises microscópicas foram realizados os cortes histológicos dos blocos no Laboratório de Anatomia e Ecologia Vegetal do departamento de Ciências Biológicas na Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), em um micrótomo de deslize Zeiss Hyrax S30, regulado para espessura de 20 µm, em 3 diferentes sentidos de corte<sup>9</sup>: transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (KRAUS e ARDUIN, 1997). Inicialmente, os blocos foram submetidos a sequência descrita a seguir e mostrada na Figura 16.

1. Clarificação em solução de hipoclorito (aproximadamente 2 min.)
2. Lavagem em água destilada (2 vezes)
3. Coloração com safranina aquosa azul – proporção de meio aquoso de 9 x 1
4. Lavagem com água destilada (2 vezes)
5. Desidratação em sequência alcoólica (50, 70, 90% e absoluto)
6. Manutenção e conservação da amostra em acetato de butila (50%)

Figura 16 – Etapas do processo de preparação dos cortes histológico.



Legenda:

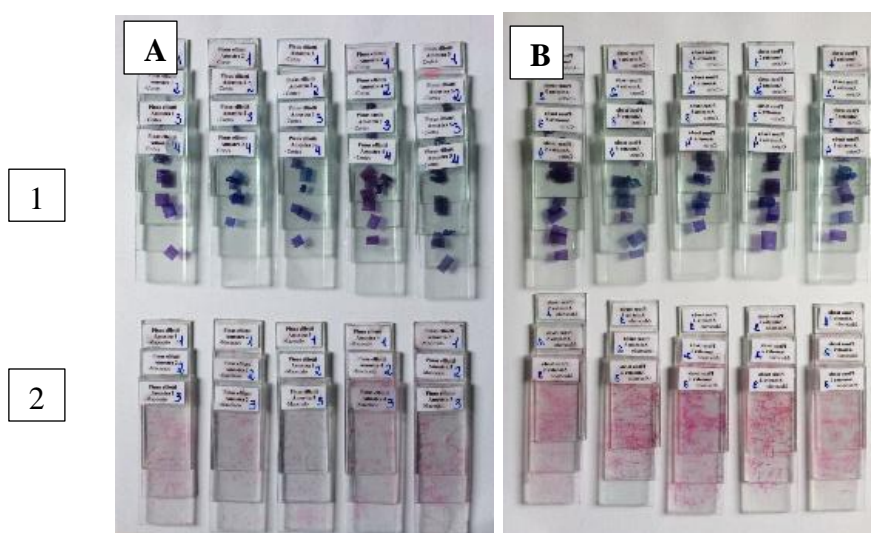
- A. Amostras de madeira usadas – 25 corpos de prova da espécie *Pinus elliottii*.
- B. Amostras de *Pinus elliottii* na etapa de clarificação em solução de hipoclorito (a seta indica a amostra de *Pinus*).
- C. Amostras de *Pinus elliottii* na etapa de desidratação alcoólica em álcool absoluto.

<sup>9</sup> Os sentidos de corte: transversal (perpendicularmente ao maior eixo do órgão), longitudinal radial (passa pelo raio) e longitudinal tangencial (tangente ao raio do cilindro).



Logo após, foram montadas lâminas com verniz sintético do tipo vitral, seguindo a orientação anatômica, transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial (PAIVA *et al.*, 2006), conforme mostrado na Figura 17.

Figura 17 - Lâminas histológicas e material macerado das duas espécies de *Pinus*.



Legenda:

D. Amostras das lâminas de *Pinus Elliottii* (1- cortes anatômicos, 2 - macerado)

E. Amostras das lâminas de *Pinus Taeda* (1 - cortes anatômicos, 2 - macerado)

Os cortes histológicos foram visualizados no microscópio Olympus CX31, conectado à câmera digital Dino Eye (Dino Capture 2.0). Para a anatomia descritiva da espécie, os elementos foram avaliados conforme a metodologia sugerida pela IAWA Committee (1989).

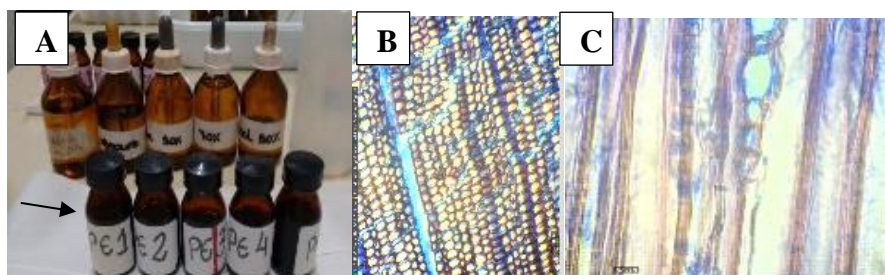
Foram utilizados para o material macerado pequenos filetes de madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, que foram submetidos a uma solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético, na proporção 1:1 e mantidos em estufa à 60 °C durante 48 horas. Depois do período de aquecimento, as amostras foram lavadas com água destilada e coradas com safranina, conforme descrito na metodologia de Franklin (1945).

As amostras de macerado foram levadas ao Laboratório de Anatomia e Ecologia Vegetal do departamento de Ciências Biológicas na Universidade da Região de Joinville (UNIVILLE), onde foi realizada a mensuração do comprimento do traqueídeos, utilizando 25 repetições por seção avaliada de *P. taeda* e *P. elliottii*, no total de 250 medições.

Para as amostras de cortes histológicos, foram realizadas medições do diâmetro do traqueídeo (do lenho tardio e juvenil), tamanho das pontoações, altura e largura dos raios. Foram utilizadas 25 repetições por seção avaliada de cada espécie, num total de 1.750 medições. O equipamento utilizado foi um microscópio Olympus TH4 – 200, sendo a medição realizada

com *software Dino Eye*. A escala usada foi em micrometros ( $\mu\text{m}$ ). O material analisado em microscópio está apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Material analisado em microscópio.



Legenda:

- A. Frasco com amostras do material macerado do *Pinus elliottii* conforme metodologia de Franklin (1945).
- B. *Pinus taeda* corte longitudinal radial vista em microscópio ótico
- C. *Pinus elliottii* corte longitudinal radial vista em microscópio ótico.

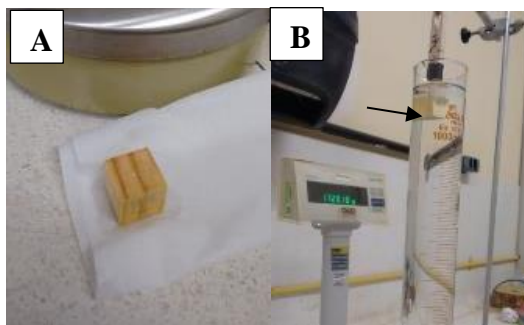
### 3.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DAS MADEIRAS

A definição das propriedades físicas das madeiras foi realizada de acordo com procedimentos determinados pela COPANT 461 (1972) e COPANT 462 (1972).

#### 3.5.1 Densidade

A densidade foi determinada a partir de 25 amostras com dimensões 25 x 25 x 25 mm (NBR 14660, 2004). As amostras foram imersas em água, até que estivessem completamente saturadas, para obtenção do volume pelo método da balança hidrostática, conforme descrito na norma NBR 11941 (2003), e mostrado na Figura 19.

Figura 19 – Determinação da densidade básica pelo método da balança hidrostática.



Legenda:

- A. Amostra de madeira *Pinus* saturada em água.
- B. Determinação do volume pelo método da balança hidrostática (a seta indica a amostras submersa).

As amostras foram secas em estufa à temperatura de  $105\pm 2$  °C e posteriormente, foi realizada a mensuração da massa seca do material em uma balança de 0,01 g de precisão. A densidade básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) foi determinada, conforme Equação 1.

$$d_b = \frac{m_3}{m_2 - m_1} \quad (1)$$

Onde:

$d_b$  – Densidade básica, ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$m_1$  – Massa do recipiente com água, (g).

$m_2$  – Massa do recipiente com água e amostra submersa, (g).

$m_3$  – Massa da amostra seca em estufa  $105\pm 2$  °C, (g).

Nota: o volume da amostra equivale ao volume da água deslocada que, por sua vez, é igual à diferença da massa ( $m_2 - m_1$ ), considerando-se a densidade da água como um grama por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Onde  $1\text{g} = 1\text{cm}^3$

### 3.5.2 Retratibilidade da madeira

Os corpos de prova obtidos apresentavam dimensões 25 x 25 x 100 mm e seleção da orientação dos anéis de crescimento. Desse modo, foi possível realizar a observação dos coeficientes de retratibilidade lineares tangencial, radial e longitudinal, além da quantificação volumétrica.

A retratibilidade volumétrica máxima foi determinada entre a amostra em condição “úmida” (12 %) e a amostra em condição seca (próximo a 0%), a partir da Equação 2.

$$\beta Vm_{\text{máx}} = \left( \frac{V_u - V_0}{V_u} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde:

$\beta Vm_{\text{máx}}$  – Coeficiente de retratibilidade volumétrica máxima (%).

$V_u$  – Volume do corpo de prova no estado saturado de umidade (mm).

$V_0$  – Volume do corpo de prova no estado seco em estufa (mm).

O coeficiente de contração da anisotropia foi determinado pela Equação 3. A partir deste, foi avaliado o desvio entre as variações dimensionais nos sentidos anatômicos tangencial e radial, e de modo consequente o comportamento da madeira durante a secagem em 25 amostras para cada espécie de *Pinus*.

$$Ac = \beta t / \beta r \quad (3)$$

Onde:

$Ac$  – Coeficiente de anisotropia de contração (%).

$\beta t$  – Coeficiente de contração tangencial (%).

$\beta r$  – Coeficiente de contração radial (%).

### 3.5.3 Teor de umidade

O teor de umidade em base de massa úmida dos corpos de prova utilizados nos experimentos foi determinado por termo gravimetria em estufa, segundo a norma ABNT NBR 14929 (2017). Foram utilizadas 25 amostras com dimensões de 25 x 25 x 25 mm para cada espécie (*Pinus elliottii* e *Pinus taeda*). A umidade foi definida como peso de água contida no interior de sua estrutura expressa como percentual do seu peso seco. A pesagem das amostras de madeiras foi realizada com balança de precisão e a secagem foi a 105°C ± 2°C até que a amostra apresentasse massa constante e determinada pela Equação 4.

$$U = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (4)$$

Onde:

$U$  - Teor de umidade, (%).

$m_1$  - Massa do recipiente de secagem seco em estufa a 105°C ± 2°C, (g).

$m_2$  - Massa do recipiente com a amostra antes da secagem, (g).

$m_3$  - Massa do recipiente com a amostra depois da secagem, (g).

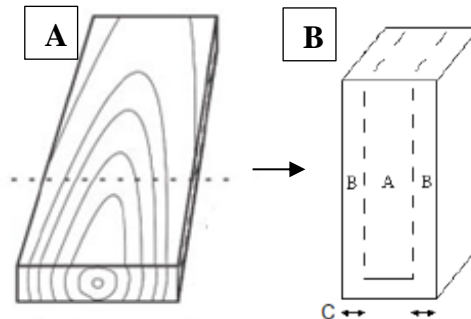
### 3.5.4 Potencial hidrogeniônico

O pH das madeiras foi determinado utilizando um pHmetro de Bancada 94V Q400AS Quimis, seguindo o procedimento descrito pela norma TAPPI 252 om-12 (2012). Para esta análise, foram utilizadas 2,0 g de partículas de madeira por amostra das duas espécies de *Pinus*, que passaram pela peneira de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. As amostras foram solubilizadas em 100 mL de água quente por 3 h e foi utilizada uma manta térmica para que não houvesse perda de vapor d'água e consequente variação de concentração dos extratos das amostras. Foram efetuadas três repetições da medição em 5 amostras para espécie de madeira.

### 3.5.5 Análise das tensões de secagem das madeiras

As forças das tensões da secagem foram avaliadas conforme a metodologia descrita por Pratt (1974) e apresentada na Figura 20. Para cada espécie de *Pinus*, foram utilizados 25 corpos de prova para avaliar as tensões. No recebimento da madeira foram retidas as amostras do centro da tábua para evitar a influência da umidade das pontas da madeira.

Figura 20 – Esquema para a confecção dos corpos de prova para análise das tensões residuais de secagem descritas pela metodologia de Pratt (1974).



$C = \frac{1}{4}$  da espessura total da amostra

Legenda:

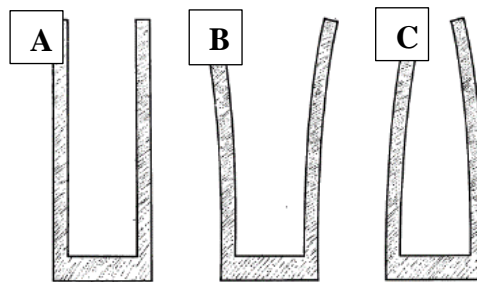
A. Tábua de madeira com indicação pontilhada do local de onde foram retiradas as amostras.

B. Desenho representativo para a confecção do corpo de prova usadas no ensaio.

Fonte: Adaptado de Pratt, (1974).

As forças das tensões ocasionadas pela secagem foram classificadas segundo a metodologia descrita por Pratt (1974), conforme Figura 21.

Figura 21 – Padrões visuais de qualificação das tensões geradas na secagem descritas pela metodologia de Pratt (1974).



Legenda:

A. A madeira provavelmente está livre de tensões.

B. A madeira está com encruamento.

C. A madeira está com encruamento reverso.

Fonte: Adaptado de Pratt, (1974).

### 3.5.6 Rugosidade da superfície usinada

Todas as superfícies das peças usinadas nos processos de usinagem por meio de lixa, moldureira e serra (com teores de umidade de 8 e 15%) foram submetidas à medição da rugosidade “Ra” (rugosidade média) e “Rz” (altura máxima do perfil de rugosidade).

O equipamento utilizado foi um rugosímetro eletromecânico, marca Taylor Hobson, modelo SURTRONIC 25, da empresa Metalúrgica Denk Ltda de São Bento do Sul/ SC, com ponta esférica de diamante com diâmetro 0,2 mm. Para determinação da rugosidade foram adotadas 25 amostras para cada espécie de madeira.

O comprimento de amostragem foi de 2,5 mm (*cut off*), segundo valor sugerido pela norma ABNT NBR 4287 (2002). O percurso de medição (lm) para *cut off* foi de 12,5 mm, resultando na média de 5 valores adquiridos por medição.

### **3.5.7 Estabilidade da superfície usinada**

Todas as superfícies das peças usinadas nos processos de lixa, moldureira e serra (com teores de umidade de 8 e 15%) foram submetidas à medição do paralelismo ( avaliando a retas entre as faces formando entre si um ângulo reto) e esquadro entre faces, seguindo procedimento da norma NBR 7190 (1997).

O equipamento utilizado foi um Tridimensional Mitutoyo Crysta Plus M da empresa Metalúrgica Denk Ltda de São Bento do Sul/ SC. Foram realizadas medições em 25 amostras para cada espécie de *Pinus*.

## **3.6 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DO ADESIVO**

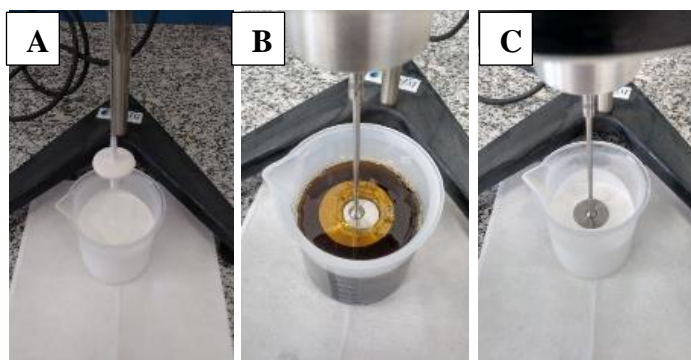
### **3.6.1 Viscosidade**

Para a determinação da viscosidade do adesivo foi utilizado viscosímetro *Brookfield*, modelo RVT, conforme apresentado na Figura 22, o qual disponibilizado pelo LTMM (Laboratório de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário – setor físico químico, SENAI de São Bento do Sul/ SC).

Os procedimentos empregados foram baseados na norma ASTM D 1084 (1997). O *spindle* (agitador) empregado para a determinação da viscosidade foi o de número 4, com velocidade de rotação de 20 rpm.

Para a determinação da viscosidade, as amostras foram condicionadas em ambiente climatizado com temperatura de  $25 \pm 1$  °C, foram realizadas 5 repetições para todas as análises. As amostras avaliadas foram do adesivo, do catalisador e da cola (mistura de adesivo + catalisador na proporção de 10:1, conforme descrito pelo manual técnico do fornecedor).

Figura 22 – Determinação da viscosidade *Brookfield* do adesivo, do catalisador e da cola (adesivo + catalisador).



Legenda:

- A. Medição da viscosidade do adesivo EPI 1975.
- B. Medição da viscosidade do catalisador 1993.
- C. Medição da viscosidade da cola.

### 3.6.2 Teor de sólidos

A determinação do teor de sólidos das amostras de catalisador, adesivo e cola, foi baseado na norma NBR 7340 (1982), cujo procedimento foi a pesagem em balança analítica das amostras de catalisador, adesivo e cola, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Determinação do teor de sólidos das amostras.



Legenda:

- A. Medição do peso do recipiente vazio.
- B. Medição do peso da amostra.
- C. Amostras em estufa para evaporação dos voláteis.

As amostras foram levadas para estufa com circulação de ar, por um período de 3 h na temperatura de  $103 \pm 2$  °C. Após este tempo, foram novamente pesadas e por meio da diferença de peso antes e após a secagem, foi determinada a porcentagem de sólidos por massa nas amostras. Foram utilizadas 5 amostras para cada produto.

### 3.6.3 Determinação do potencial hidrogeniônico

Para a determinação do pH, foi utilizado o pHmetro de Bancada 94V Q400AS Quimis, usando soluções tampão de pH igual a 4,00 e  $7,00 \pm 0,02$  da Quimis. O procedimento de calibração de pHmetro segue a Norma da ABNT NBR 9251(1986). Para a medida do pH, foram inseridas aproximadamente 50 mL da amostra em um béquer de 80 mL e em seguida, foi imerso na amostra (por três vezes) o eletrodo deixando em repouso, até estabilizar e fazer a leitura.

## 3.7 CARACTERIZAÇÃO DAS JUNTAS COLADAS

### 3.7.1 Ensaios de resistência mecânica

Para os ensaios de caracterização quanto à resistência mecânica das juntas coladas em madeira de *Pinus elliottii e taeda*, foi utilizada uma máquina de ensaio universal, marca “EMIC”, modelo DL1000, com capacidade para realizar ensaios mecânicos para uma carga de até 10 toneladas, que está instalada no laboratório de Tecnologia da Madeira e do Mobiliário (LTMM) da unidade de São Bento do Sul do SENAI/SC.

### 3.7.2 Avaliação da resistência de colagem lateral

#### 3.7.2.1 Cisalhamento na linha de cola

Para o teste de cisalhamento na linha cola foi necessário realizar uma adaptação do tamanho do corpo de prova, pois o teste de cisalhamento visa obter a força de ruptura na linha de cola do painel, e devido ao experimento ter sido realizado com painéis comerciais, seus corpos de prova foram retirados de acordo com uma adaptação das normas ASTM D 5751 (1999) e a ABNT NBR 7190 (1997), para que se pudesse avaliar efetivamente a resistência na linha de cola, onde se supunha que ocorreria o cisalhamento. Foram usadas 25 amostras com dimensões de 45 x 50 x 18 mm.

#### 3.7.2.2 Resistência da lâmina de cola à tração

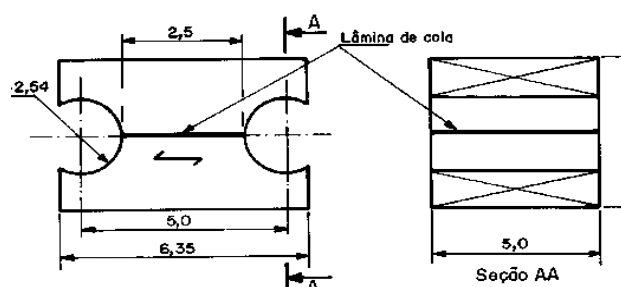
A resistência da lâmina de cola à tração normal da madeira laminada colada é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova alongado com trecho central



de seção transversal uniforme de área (A) e comprimento não menor que  $2,5\sqrt{A}$ , com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central, conforme mostrado Figura 24.

A resistência da lâmina de cola à tração seguiu procedimento descrito pela norma ABNT NBR 7190 (1997) em 25 amostras de cada espécie de madeira.

Figura 24 – Corpo de prova para tração da lâmina colada normal às fibras.



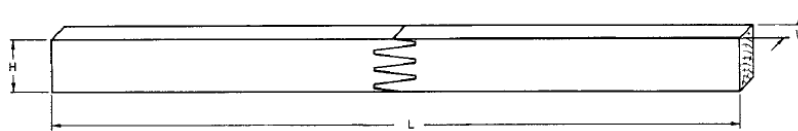
Fonte: Projeto de estruturas de madeira, ABNT NBR 7190 (1997).

### 3.7.2.3 Resistência da emenda dentada

Os corpos de prova usados para tração da emenda finger seguiram os parâmetros descritos na norma ASTM 5572 (2006), com as dimensões de 19,05 x 6,35 x 25,4 mm em espessura, largura e comprimento (Figura 25).

De acordo com a norma ASTM 5572 (2006), para cada condição de uso (seco ou úmido), os corpos de prova deverão ser submetidos à pré tratamentos e atingir requisitos mínimos de resistência à tração estática. Foi avaliada a madeira submetida a Etapa 1 da norma, que corresponde ao pré tratamento à seco. Para cada espécie, foram utilizados 25 corpos de prova.

Figura 25 – Corpo de prova para tração da emenda dentada.



Legenda: H: Espessura; w: Largura e L: Comprimento.

Fonte: ASTM 5572, (2006).

### 3.7.2.4 Resistência térmica da colagem

A porcentagem de falha na madeira foi determinada de acordo com as prescrições da norma ASTM D 3110 (ASTM, 1994 b) e no método interno do LTMM, o qual tem por objetivo

simular a temperatura do interior de um container. As amostras foram acondicionadas em estufa elétrica com circulação de ar, sendo distribuídas em um suporte especial dentro da estufa a fim de mantê-las isoladas entre si.

Foram aplicados 4 ciclos de calor, por 2 horas em cada uma das faixas de temperatura: 50 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C. Em cada intervalo dos ciclos de temperatura, as amostras foram retiradas da estufa sendo avaliadas com o auxílio de uma lupa, um paquímetro e canetas com cores diferentes, representando cada uma delas um ciclo de temperatura, e avaliadas para verificar a percentagem das aberturas das linhas de cola.

### 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para cada variável considerada foram obtidas a média e o respectivo desvio padrão. Seguido o teste da normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro-Wilks, foram aplicados os testes t de Student e o teste de Kruskal-Wallis, respectivamente para dados referentes à anatomia e às propriedades físicas da madeira com ou sem distribuição normal. Os testes empregados consideram o nível de significância de  $\alpha \leq 0,05$ . Foi utilizada a análise de componentes principais (PCA) para determinar a maior variância entre as variáveis selecionadas. Todas as análises estatísticas foram realizadas no *software* R studio com interface ao pacote R *commander* (Boccard *et al.*, 2011).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE ANATÔMICA DAS MADEIRAS

#### 4.1.1 Características macroscópicas das espécies de madeira

A madeira do *P. elliotii* apresenta cerne e alborno bastante indistintos, com uma coloração predominantemente amarela, o cheiro é característico de resina, possui grã direita, textura média a grossa, anéis de crescimento bem definidos e crescimento excêntrico.

O *P. taeda*, apresenta madeira com cerne e alborno indistintos, com uma coloração amarela clara, o cheiro é indistinto, possui grã direita, textura média a grossa, anéis de crescimento bem definidos, marcando as transições entre o lenho juvenil e tardio, e crescimento bastante excêntrico.

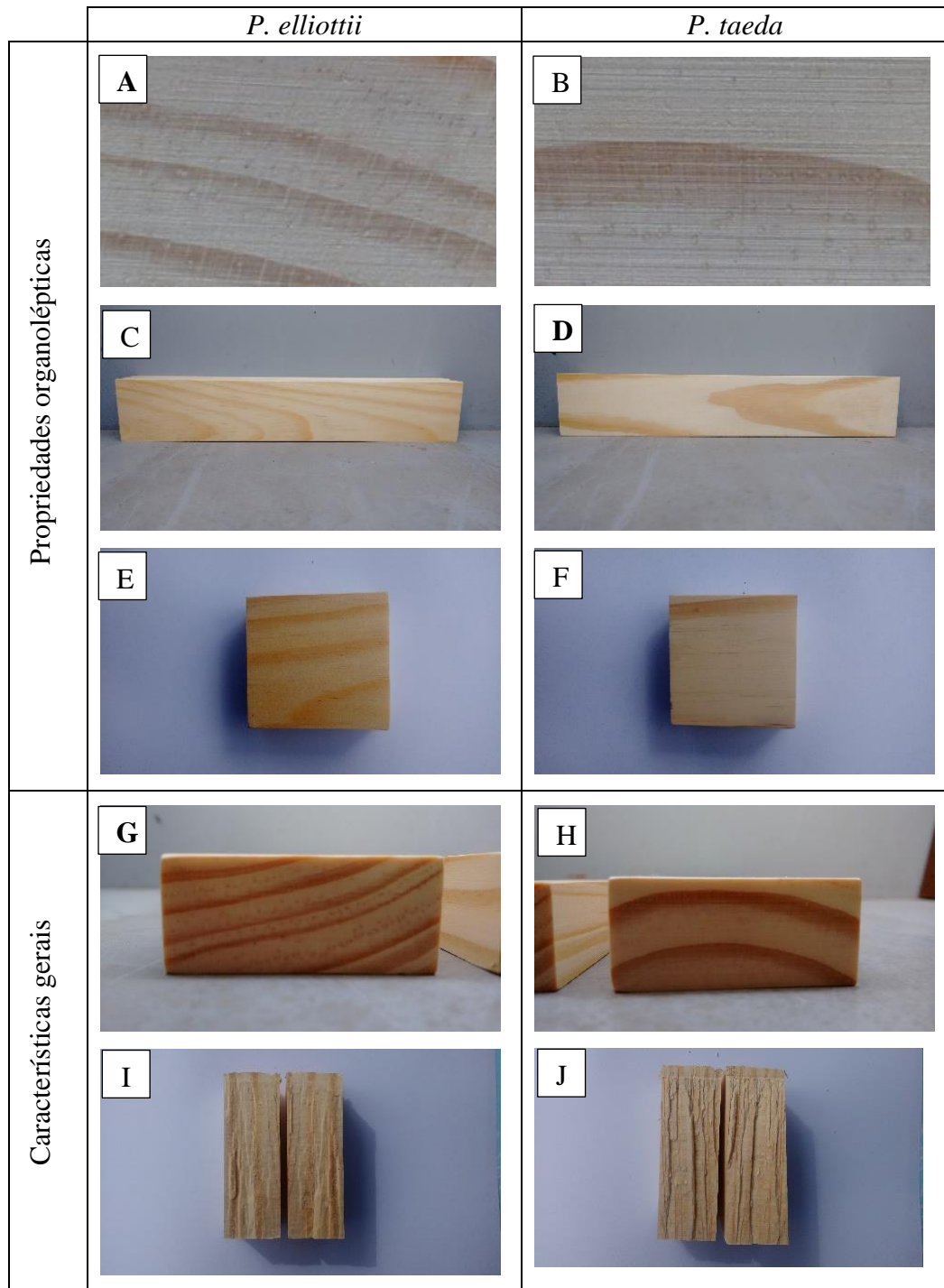
As propriedades organolépticas avaliadas (cheiro, textura, desenho, cor) e os caracteres gerais (descrição dos anéis de crescimento, definição de cerne e alborno, grã da madeira) das duas espécies de *Pinus* apresentam características macroscópicas muito similares entre si, devido pertencerem ao mesmo gênero (KLOCK, 1989). Na Tabela 5 são apresentadas as principais características macroscópicas das espécies estudadas.

Tabela 5 – Características macroscópicas das espécies de *P. elliotii* e *P. taeda*.

<b>Caraterística</b>	<b><i>P. elliotii</i></b>	<b><i>P. taeda</i></b>
Anéis de crescimento	Distintos	Distintos
Cerne e alborno	Indistintos	Indistinto
Cheiro	Distintos	Indistinto
Textura	Média a grossa	Média a grossa
Desenho	Normal	Normal
Cor	Amarelado	Amarelado
Grã	Direita	Direita

Por meio da visualização da Figura 26 é possível identificar algumas das propriedades organolépticas avaliadas (textura, desenho, cor) e os caracteres gerais (descrição dos anéis de crescimento, grã da madeira) verificados nas duas espécies de *Pinus*.

Figura 26 – Características macroscópicas das madeiras das espécies de *P. elliotii* e *P. taeda*.



Legenda:

- Propriedades organolépticas
- A. *P. elliotii* – textura da madeira - média a grossa
  - B. *P. taeda* - textura da madeira - média a grossa
  - C. *P. elliotii* – desenho da madeira - normal
  - D. *P. taeda* - desenho da madeira - normal
  - E. *P. elliotii* – cor da madeira - amarelado
  - F. *P. taeda* - cor da madeira - amarelado

- Caracteres gerais
- G. *P. elliotii* – anéis de crescimento - distintos
  - H. *P. taeda* - anéis de crescimento - distintos
  - I. *P. elliotii* – grã - direita
  - J. *P. taeda* – grã - direita

As características macroscópicas das espécies podem exercer influência direta nos processos produtivos industriais, em relação aos anéis de crescimento bastante distintos, alguns efeitos podem ser observados em relação à resistência mecânica presente em cada uma das porções do lenho juvenil e tardio. De acordo com Ballarin e Palma (2003), as propriedades de resistência e rigidez da madeira adulta de *Pinus taeda*, são maiores em aproximadamente 54% e 47%, respectivamente, quando comparadas à madeira do lenho juvenil. Segundo Ballarin e Palma (2003), o consumo de adesivo na região do lenho juvenil durante o processo de fabricação de painéis é maior, quando comparado ao lenho tardio.

Outro fator de variabilidade para o estudo de processos de colagem, ocorre com a formação do cerne, mesmo sem explicação concisa, verifica-se que as células do albúrnio são levemente preenchidas por materiais decorrentes de processos bioquímicos naturais da planta, ainda remanescentes nas regiões periféricas existentes entre o cerne e o albúrnio. Segundo Marra (1992), esses materiais alteram a cor da madeira, a permeabilidade e a higroscopicidade, fatores estes, que podem ocasionar um aumento da impermeabilidade da madeira dificultando os processos de colagem.

O desenho normal e a cor amarelada da madeira das duas espécies não afetam o padrão de qualidade desejados na produção do painel *EGP* quando se trata de colagem.

Conforme descrito por Gonzaga (2006), o cheiro característica da madeira pode ser indesejado em determinadas aplicações, evidentemente, que no caso das espécies estudadas, essa peculiaridade é mais acentuada na espécie de *P. elliottii*, quando comparada ao *P. taeda*, contudo, para a produção de painéis *EGP* não apresenta impedimentos.

A textura média apresentada nas duas espécies, proveniente da diferenciação entre os lenhos juvenil e tardio, pode gerar dificuldade no processamento e acabamento da superfície da madeira, conseqüentemente, ocasionando um maior consumo de insumos (KLOCK, 1989).

A grã direita, possivelmente, não apresenta dificuldades relevantes, principalmente, para os processos usinagem. Conforme Lucas Filho (2004), somente os desvios de grã podem afetar o desempenho e a vida das ferramentas, que nestes casos, necessitam de equipamentos melhores preparados.

#### **4.1.2 Características microscópicas das espécies de madeiras**

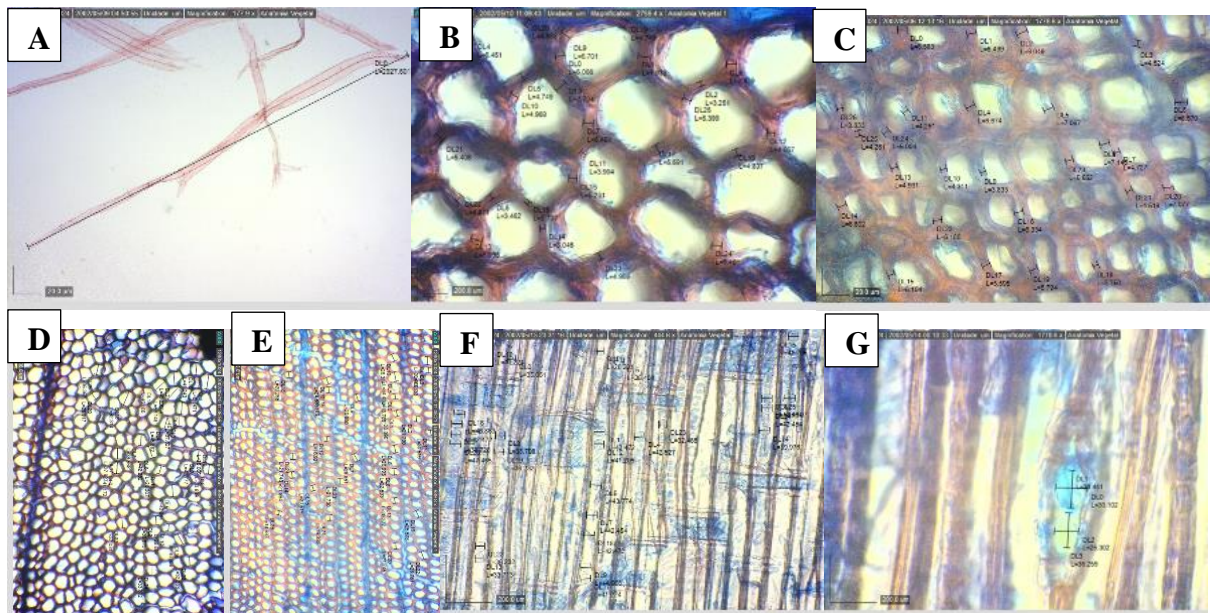
Na Figura 27 estão apresentadas as micrografias da madeira de *P. elliottii*. Os traqueídeos se apresentam com uma seção poligonal com comprimento médio de 2596,11 µm (Figura 27 A).

A espessura das paredes desses elementos está compreendida num valor médio de 4,12  $\mu\text{m}$  no lenho juvenil e 5,03  $\mu\text{m}$  no lenho tardio (Figura 27 - B e C), o diâmetro médio dos traqueídeos no lenho inicial é de 40,65  $\mu\text{m}$ , enquanto no lenho tardio é de 23,61  $\mu\text{m}$  (Figura 27 - D e E).

Pontoações areoladas são dispostas em fileiras unisseriadas com média de 36,297  $\mu\text{m}$  de diâmetro tangencial (Figura 27 F).

Os raios são unisseriados e fusiformes, quando mensurado nas dimensões de comprimento e largura apresentam medidas médias de 25,52  $\mu\text{m}$  e 23,91  $\mu\text{m}$  (Figura 27 G).

Figura 27 – Micrografia da madeira de *Pinus elliottii* apresentado as características dos traqueídeos, pontoações e raios.



Legenda:

- A. Material macerado – comprimento do traqueídeo
- B. Corte transversal - espessura da parede do traqueídeo do lenho juvenil
- C. Corte transversal - espessura da parede do traqueídeo do lenho tardio
- D. Corte transversal - diâmetro traqueídeo do lenho juvenil
- E. Corte transversal - diâmetro traqueídeo do lenho tardio
- F. Corte longitudinal radial - tamanho das pontoações
- G. Corte longitudinal tangencial - altura e largura dos raios

Na Figura 28 estão apresentadas as micrografias da madeira de *Pinus taeda*. Para a espécie de *Pinus taeda*, os traqueídeos apresentam seção poligonal e por vezes retangulares, com comprimento médio de 2786,17  $\mu\text{m}$  (Figura 28 A).

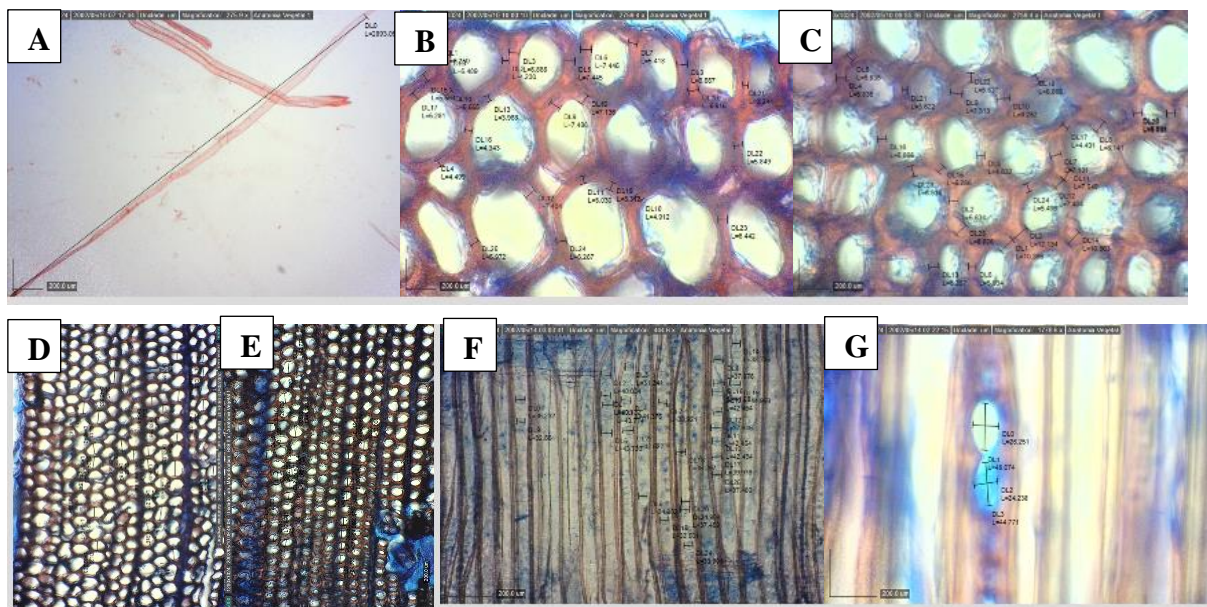


A espessura das paredes desses elementos está compreendida num valor médio de 5,03  $\mu\text{m}$  no lenho juvenil e 7,24  $\mu\text{m}$  no lenho tardio (Figura 28 - B e C). O diâmetro no lenho inicial é de 44,56  $\mu\text{m}$ , enquanto no lenho tardio é de 24,96  $\mu\text{m}$  (Figura 28- D e E ).

As pontoações areoladas estão em fileiras, principalmente, unisseriadas com média de 36,232  $\mu\text{m}$  de diâmetro tangencial (Figura 28 F).

Os raios são unisseriados, fusiformes e quando mensurados nas dimensões de comprimento e largura apresentam medidas médias de 24,66  $\mu\text{m}$  e 26,53  $\mu\text{m}$  (Figura 28 G).

Figura 28 – Micrografia da madeira de *Pinus taeda* apresentado as características dos traqueídeos, pontoações e raios.



Legenda:

- A. Material macerado – comprimento do traqueídeo
- B. Corte transversal - espessura da parede do traqueídeo do lenho juvenil
- C. Corte transversal - espessura da parede do traqueídeo do lenho tardio
- D. Corte transversal - diâmetro traqueídeo do lenho juvenil
- E. Corte transversal - diâmetro traqueídeo do lenho tardio
- F. Corte longitudinal radial - tamanho das pontoações
- G. Corte longitudinal tangencial - altura e largura dos raios

Na Tabela 6, estão apresentadas as características microscópicas das duas espécies, onde estão apresentados os valores médios do comprimento dos traqueídeos, espessura da parede do lenho juvenil e tardio, tamanho do raio e pontoações.

Tabela 6 – Médias e desvio padrão das características microscópicas das madeiras das espécies de *Pinus elliotii* e *Pinus taeda*.

Variável	<i>Pinus elliotii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Comprimento do traqueídeo ( $\mu\text{m}$ )	2596,11 $\pm$ 429,88 <sup>a</sup>	2786,17 $\pm$ 130,20 <sup>b</sup>
Espessura da parede do lenho juvenil ( $\mu\text{m}$ )	4,12 $\pm$ 1,14 <sup>a</sup>	5,03 $\pm$ 1,46 <sup>b</sup>
Espessura da parede do lenho tardio ( $\mu\text{m}$ )	5,13 $\pm$ 1,06 <sup>a</sup>	7,24 $\pm$ 1,79 <sup>a</sup>
Tamanho do raio – altura ( $\mu\text{m}$ )	23,72 $\pm$ 6,45 <sup>a</sup>	24,91 $\pm$ 5,00 <sup>b</sup>
Tamanho das pontoações ( $\mu\text{m}$ )	36,29 $\pm$ 6,62 <sup>a</sup>	36,23 $\pm$ 7,38 <sup>b</sup>

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de  $\alpha \leq$  de 95 % pelo teste de Kruskal-Wallis.

Verifica-se da Tabela 6 que nas duas espécies de *Pinus*, os traqueídeos são elementos relativamente grandes quando comparados aos outros elementos microscópicos estudados. No *P. elliotii*, os traqueídeos apresentaram valores médios de 2596,11  $\mu\text{m}$ , ligeiramente menores que os comprimentos encontrados para os mesmos elementos do *P. taeda* de 2786,17  $\mu\text{m}$ . Essas variações no comprimento dos traqueídeos também foram encontradas por Trianoski (2012). Dentre as sete espécies estudadas pelo autor, o *Pinus caribaea bahamensis* apresentou o maior comprimento de traqueídeos, com valor médio de 3260,00  $\mu\text{m}$ , enquanto, o *P. taeda* apresentou o menor comprimento médio, de 2290,00  $\mu\text{m}$ .

Comparando duas espécies de *Pinus*, Muniz (1993) observou que o *P. elliotii* apresentou um comprimento médio de 3702,37  $\mu\text{m}$ , e o *P. taeda* apresentou de 3742,04. De acordo com Panshin e De Zeew (1980), Castelo (2007) e Trianoski (2012), o comprimento dos traqueídeos são influenciados pelas divisões que ocorrem no câmbio, assim como, pelas altas taxas de hormônios e pelas ótimas condições de produção celular, otimizadas pelas rápidas divisões celulares, gerando assim elementos mais alongados.

De acordo com Foelkel *et al.* (1975a), Muniz (1993) e Trianoski (2012), os o comprimento desses elementos também está associado a fatores como, condições genéticas de cada espécie, diâmetro e altura da árvore, resulta da diferença entre os lenhos juvenil e tardio. Ainda, segundo os mesmos autores e assim como esperado neste trabalho, quanto mais desenvolvidos em tamanho e espessura das árvores, esses elementos tendem a aumentar a resistência a tração e ao arrebentamento quando empregados em elementos estruturais.

A espessura das paredes desses elementos ficou compreendida entre os valores médios das paredes do lenho juvenil de 4,12  $\mu\text{m}$  (*P. elliotii*) e 5,03  $\mu\text{m}$  (*P. taeda*), enquanto, os valores encontrados para a espessura média dos traqueídeos no lenho tardio foram de 5,13  $\mu\text{m}$  (*P. elliotii*) e 7,24  $\mu\text{m}$  (*P. taeda*). Ao se avaliar o aumento da espessura da parede entre os lenhos



juvenil e tardio, observa-se que ocorre um aumento no espessamento com o aumento da idade. Observações similares foram feitas em estudo de Muniz (1993), nos quais a espessura média dos traqueídeos no lenho juvenil foram de 5,61 a 7,48  $\mu\text{m}$  (*P. elliottii*) e de 5,69 a 7,60  $\mu\text{m}$  (*P. taeda*), enquanto, a espessura média dos traqueídeos no lenho tardio foram de 7,78 a 10,04  $\mu\text{m}$  (*P. elliottii*) e de 7,44 a 11,02  $\mu\text{m}$  (*P. taeda*).

Trianoski (2012) encontrou nos seus estudos maior valor médio, de 9,80  $\mu\text{m}$ , na espessura das paredes para a espécie de *Pinus oocarpa*. Estatisticamente, este resultado foi o maior encontrado nos seus estudos. Enquanto, a menor espessura foi apresentada pela espécie de *Pinus chiapensis*, com valor médio de 6,89  $\mu\text{m}$ , sendo estes valores próximos aos encontrados no presente trabalho.

A espessura da parede é afetada pela idade da planta, apresentando um incremento linear com o passar dos anos (COWN, 1980). Dessa maneira, nas coníferas, a espessura das paredes tende a aumentar do centro para a região mais externa (KLOCK, 2000; CASTELO, 2007).

O tamanho das pontoações encontradas foram de 36,29  $\mu\text{m}$  e 36,23  $\mu\text{m}$ , para o *P. elliottii* e *P. taeda*, respectivamente. Muniz (1993) encontrou pontoações areoladas do lenho inicial, com média de 29,2  $\mu\text{m}$  de diâmetro tangencial no *P. elliottii* e pontoações areoladas do lenho inicial com média de 30,5  $\mu\text{m}$  de diâmetro no *P. taeda*.

#### 4.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Na Tabela 7, estão apresentados os valores médios das propriedades físico-químicas das duas espécies de *Pinus* estudadas.

Tabela 7 – Valores médios das propriedades físico-químicas das espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Variável	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Densidade específica ( $\text{g/cm}^3$ )	0,48 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,41 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>
Retratibilidade (%)	8,64 $\pm$ 0,09 <sup>b</sup>	8,91 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>
Teor de umidade menor (%)	7,82 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	7,98 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>
Teor de umidade maior (%)	15,02 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	15,16 $\pm$ 0,05 <sup>c</sup>
pH	3,81 $\pm$ 0,09 <sup>d</sup>	3,95 $\pm$ 0,05 <sup>d</sup>

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Kruskal-Wallis ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de confiança de 95 % pelo teste de Kruskal-Wallis.

A densidade específica da madeira do *Pinus elliottii* apresentou-se bastante uniforme durante a avaliação experimental, sendo encontrado para a espécie o valor médio de 0,489 g/cm<sup>3</sup>, enquanto para o *Pinus taeda*, foi encontrado o valor médio de 0,410 g/cm<sup>3</sup>. A diferença de densidade ponderada entre as espécies não foi estatisticamente significativa no lote de amostras testadas.

Os valores médios determinados neste estudo para a espécie de *P. elliottii* e *P. taeda* se situam na faixa de valores encontrados por pesquisadores em estudos com as mesmas espécies. Almeida (2011) obteve em seus estudos, densidade da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* de 0,320 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Carpanezzi *et al.* (1986), a madeira de *Pinus elliottii*, em idades mais avançadas, possui densidade variando entre 0,50 e 0,56 g/cm<sup>3</sup>.

Nigoski (2005) encontrou valores densidade de 0,372 g/cm<sup>3</sup> para a espécie de *Pinus taeda* em indivíduos com idade de 14 anos. Resultados médios próximos foram encontrados por Klock (2000), com densidade básica para a espécie variando entre 0,369 e 0,440 g/cm<sup>3</sup>. Castelo (2007) encontrou densidade de 0,440 g/cm<sup>3</sup> em exemplares com idade de 18 anos. Observa-se que os valores da densidade básica determinada no presente estudo estão próximos aos valores encontrados pelos autores citados.

A variação da densidade específica pode ocorrer dentro da mesma espécie, possivelmente provenientes de condições genéticas, influências fisiológicas, mecânicas e do ambiente em que o exemplar foi cultivado (KOLLMANN, 1959).

Percebe-se que, quanto menor for a densidade da madeira, maior será a porosidade da estrutura, e conseqüentemente maior será a coesão do processo de colagem, porque o adesivo terá mais facilidade de penetrar na estrutura da madeira. Contudo, se a madeira apresentar uma densidade muito baixa, ocorrerá a tendência da formação de uma linha de cola “faminta”, exigindo uma quantidade de cola maior e prejudicando a colagem (FOGAÇA, 2014).

Os resultados obtidos para retratibilidade volumétrica da madeira espécie de *Pinus elliottii* e do *Pinus taeda*, foram de 8,64 % e 8,91 %, respectivamente. Em relação a essa propriedade, os valores médios variam dentro de uma conformidade, conforme apresentado por Koch (1972), que afirma que em espécies de *Pinus* é comum encontrar contrações de até 12%.

Os coeficientes de variação apresentados pelas espécies para variação volumétrica estão próximos a 10%. Glass e Zelinka (2010) citam que a variação volumétrica pode chegar até 15%, característico da variabilidade da contração da madeira.

Considerando as propriedades de retratibilidade, o *Pinus maximinoi* apresenta contração volumétrica de 9,08% (KLOCK, 2000). Para a espécie *Pinus caribaea* var. *caribaea*, a

contração volumétrica de foi 10 % (BANKS, 1977). Em estudos realizados por Trianoski (2012), onde foi avaliada a estabilidade dimensional de sete espécies de *Pinus*, foram obtidas contrações volumétricas de 10,64 % para o *Pinus taeda*, 10,22% para o *Pinus oocarpa*, 8,67 % para o *Pinus chiapensis* e 8,97 % para o *Pinus caribaea var. hondurensis*.

A retratibilidade volumétrica é uma propriedade física de grande relevância, a qual é responsável pela diferenciada alteração dimensional da madeira nos processos de colagem e secagem.

O teor de umidade médio obtido variou na faixa de 7,82 e 15,02% na espécie de *Pinus elliottii* e de 7,98 e 15,16% na espécie *Pinus taeda*. Este resultado pode ser considerado coerente tendo em vista que o teor de umidade indicado pelos fornecedores da madeira é entre 8 e 15 %. Segundo Iwakiri (2005), o teor de umidade da madeira deve ser abaixo de 20% em processos de colagem de madeira para que ocorra a interação do adesivo com a superfície a ser colada.

Os valores de pH encontrados nas madeiras das espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* foram de 4,81 e 4,95, respectivamente.

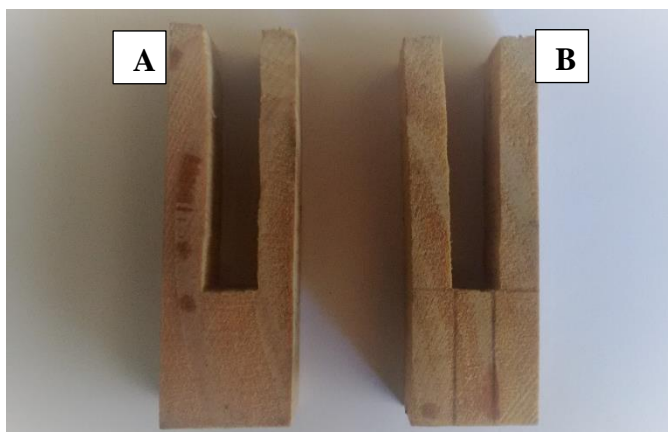
As amostras analisadas apresentaram valor de pH dentro do intervalo de variação aceitável (situados no intervalo de 4 a 8) para o processo de colagem, ou seja, os valores não são excessivamente ácidos ou alcalinos, o que poderia interferir na colagem dos painéis *EGP* e emendas *finger joint*.

Almeida (2009), em estudos com a madeira da espécie de *Pinus elliottii*, encontrou um valor médio de pH igual a 3,51, efetuando análise em água quente por 20 min e 3,85 em água fria e extração em 24 horas. Conforme Bianche (2014), o valor médio da pH encontrado nas amostras de *Pinus taeda* foi de 5,12. Em processos de colagem de madeira, é importante considerar a influência do pH da madeira e do adesivo utilizado. Para que não ocorra a degradação da madeira, o pH do adesivo e não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11 (IWAKIRI, 2005).

#### 4.3 ANÁLISE DAS TENSÕES DE SECAGEM DA MADEIRA

As forças das tensões ocasionadas pela secagem foram avaliadas conforme a metodologia descrita por Pratt (1974) e são mostradas pela Figura 29. Não foram observadas tensões acentuadas de secagem na madeira das duas espécies. Neste caso, apesar da madeira apresentar um gradiente de umidade que varia de 8 a 15 %, o teste de garfo não demonstrou tensões de secagem.

Figura 29 – Fotografia dos corpos de prova das tensões do *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.



Legenda:

- A. Corpo de prova para tensões de secagem pelo teste do garfo da espécie de *P. elliottii*.  
 B. Corpo de prova para tensões de secagem pelo teste do garfo da espécie de *P. taeda*.

Resultados similares foram encontrados por Zen (2016), na avaliação feita em amostras de madeira da espécie de *Eucalyptus* e nos resultados encontrados por Stangerlin (2009), para madeira de *E. terenticornis*, *E. saligna* e *C. citriodora*.

As tensões de secagem estão associadas ao percentual de umidade da madeira e a alta velocidade empregada no processo de secagem (MELLADO, 1993). Com emprego de altas temperaturas e o aumento da velocidade do ar na secagem da madeira em estufas com ventilação forçada, a gradiente de troca de calor no ambiente faz com que ocorra uma alta taxa de perda de água das células da madeira (KLOCK, 2000).

Devido a esse fato, ocorre a contração dos elementos celulares da madeira de forma abrupta, gerando um aumento das tensões da madeira, principalmente, quando aumenta o valor da razão entre a quantidade de água perdida pela velocidade como ela ocorre.

#### 4.4 RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA

Os valores médios da rugosidade Ra e Rz médios obtidos nos experimentos e os respectivos desvios padrão para as duas espécies de *Pinus* sob diferentes teores de umidade e processo de produção são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores médios da rugosidade superficial média (Ra) e total (Rz) das espécies de madeira.

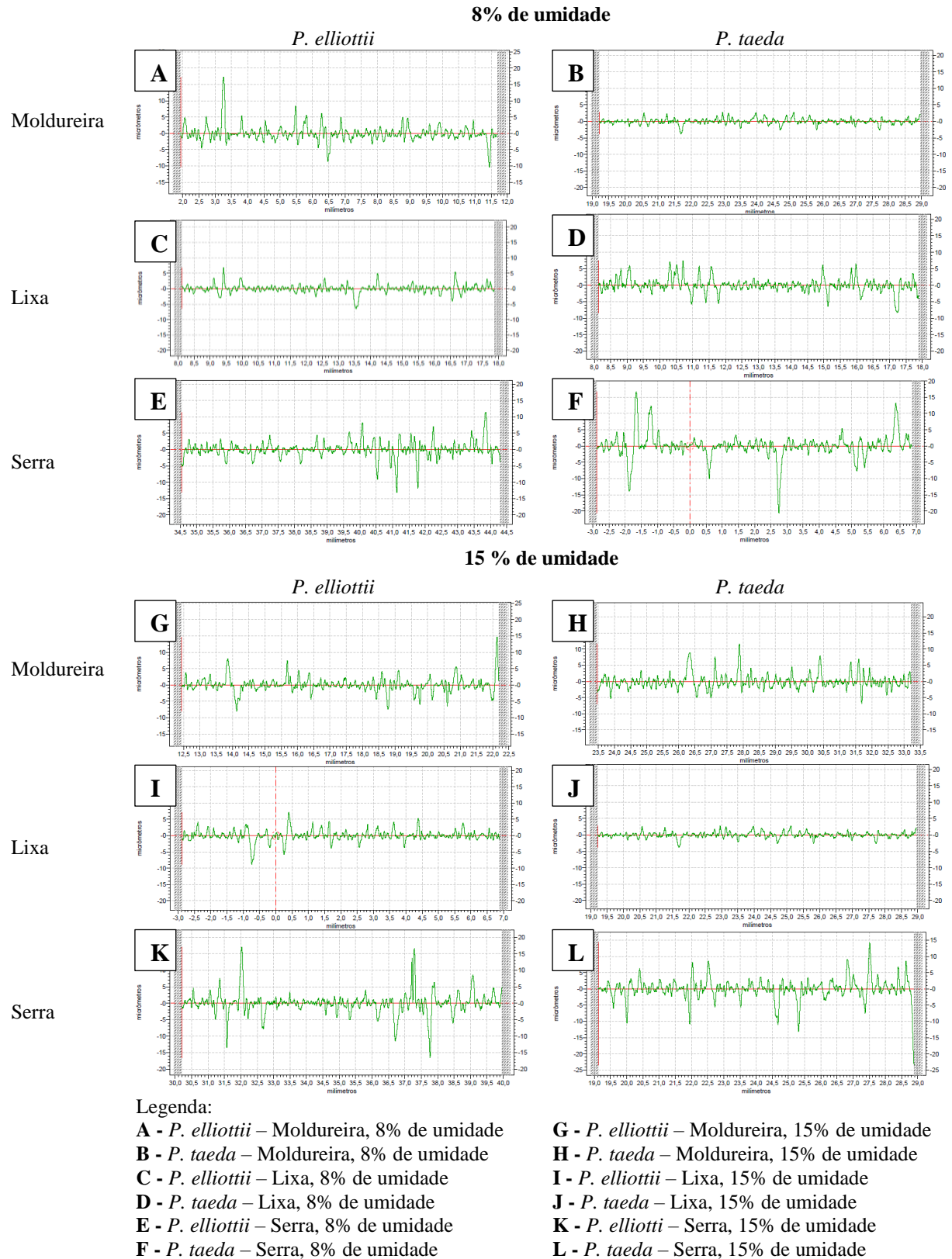
Rugosidade ( $\mu\text{m}$ )	Umidade (%)	Processo de produção	<i>P. elliottii</i>	<i>P. taeda</i>
Ra	8	Moldureira	$1,45 \pm 0,04^a$	$2,00 \pm 0,06^b$
		Lixa	$0,86 \pm 0,01^a$	$0,57 \pm 0,06^b$
		Serra	$1,45 \pm 0,04^a$	$1,47 \pm 0,01^b$
	15	Moldureira	$1,34 \pm 0,01^a$	$1,38 \pm 0,02^a$
		Lixa	$1,01 \pm 0,07^a$	$0,57 \pm 0,01^b$
		Serra	$1,82 \pm 0,04^a$	$1,93 \pm 0,03^a$
Rz	8	Moldureira	$5,99 \pm 0,04^a$	$7,23 \pm 0,10^b$
		Lixa	$2,61 \pm 0,02^a$	$3,47 \pm 0,04^b$
		Serra	$6,44 \pm 0,15^a$	$5,31 \pm 0,08^b$
	15	Moldureira	$5,40 \pm 0,06^a$	$5,40 \pm 0,01^a$
		Lixa	$2,62 \pm 0,01^a$	$4,35 \pm 0,04^b$
		Serra	$7,67 \pm 0,08^a$	$7,74 \pm 0,02^a$

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de confiança de 95 % pelo teste t de Student.

Quando avaliadas as rugosidades geradas em cada processo de usinagem nas duas espécies de *Pinus*, é possível observar que houve diferenças significativas em termos do acabamento superficial de cada processo, isto se deve ao fato principal das duas espécies apresentarem durezas diferentes, sendo esta, relacionada, principalmente, à propriedade de densidade da madeira, conforme descrito na Tabela 7. O *P. elliottii* apresenta maior densidade do que o *P. taeda*, por esse motivo os valores de rugosidade média (Ra) e rugosidade total (Rz) são relativamente menores.

Quando as duas espécies são compradas em termos de rugosidade superficial e teor de umidade de médio, é possível observar que as variâncias dos dois grupos foram iguais, foi possível estimar com uma média ponderada, onde não houve diferença estatística entre as médias, em termos do desvio padrão para as amostras com teores de umidade diferentes. Com isso, é possível prever que a diferença de teor de umidade variando de 8 a 15% não interfere significativamente no aumento da rugosidade da superficial, evidenciado pelos perfis de rugosidade mostrados na Figura 30.

Figura 30 – Gráficos do perfil de rugosidade superficial das espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* geradas por diferentes processos de usinagem e teores de umidade de 8 e 15%.



Por meio da visualização dos perfis de rugosidade mostrados da Figura 30, é possível verificar que os processos com serra apresentam uma altura máxima do perfil de rugosidade maior que nos demais processos de usinagem empregados neste trabalho, essa condição permite que ocorra melhor penetração de cola substrato formando um ancoramento mecânico mais resistente (PRATA, 2010).

O maior valor da rugosidade Rz foi encontrado nos processos envolvendo corte com serra, na espécie de *P. elliotii* o maior valor médio encontrado foi 7,57 na madeira com teor de umidade de 15 % e para a espécie de *P. taeda* o maior valor médio encontrado foi 7,94 na madeira com mesmo teor de umidade citado anteriormente.

Conforme Pinheiro (2014), em estudo realizados sobre os efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de *P. elliotii*, para o parâmetro “Ra” foi observada diferença estatisticamente significativa apenas para os níveis do fator sentido de corte e que o teor de umidade, abaixo dos 12 %, resulta em menores rugosidades.

Zhong *et al.* (2013) afirmam que quando a madeira está exposta ao ambiente de umidade elevada, a superfície se torna áspera e aumentam os esforços de corte para a usinagem.

De acordo com Bakar *et al.* (2013), em seus estudos com peças usinadas por processo de lixamento, obtiveram, para as espécies *Quercus rubra* (carvalho vermelho americano) e *Hevea brasiliensis* (seringueira) com teor de umidade de 12 %, rugosidade média “Ra” de 1,26 µm para as duas espécies.

Budacki *et al.* (2007), analisando o efeito do aplainamento na rugosidade, obtiveram valores de rugosidades” Ra” que variaram de 4,26 a 8,76 µm. Varasquim *et al.* (2012) trabalharam com variações no processo de lixamento de *Eucalyptus grandise* e obtiveram valores médios de “Ra” acima de 2,3 µm.

Santiago (2011), ao avaliar a caracterização da influência da velocidade de corte, pressão e granulometria da lixa no lixamento plano do *P. elliotii*, obteve valores médios de “Ra” de 2 µm, resultado que foi próximo a 1,0127 µm que foi encontrado no presente trabalho.

Ao avaliar o comportamento da rugosidade superficial através da ANOVA, analisando a variação entre as duas espécies de *Pinus* (*P. elliotii* e *P. taeda*) e os três processos de usinagem (lixa, moldureira e serra), foi rejeitada a hipótese nula, ou seja, ocorreram duas ou mais médias diferentes no grupo avaliado, observando a existência de diferenças significativas entre as médias do grupo.

Para verificar a variação existente, foi aplicado o teste de Tukey com grau de confiança de 95 %, avaliando assim para as variações existentes para os grupos do processo de usinagem e da rugosidade gerada em cada processo. Os valores são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação dos valores médios de rugosidade (Ra) dos processos de usinagem (serra, lixa e moldureira) pelo teste de Tukey.

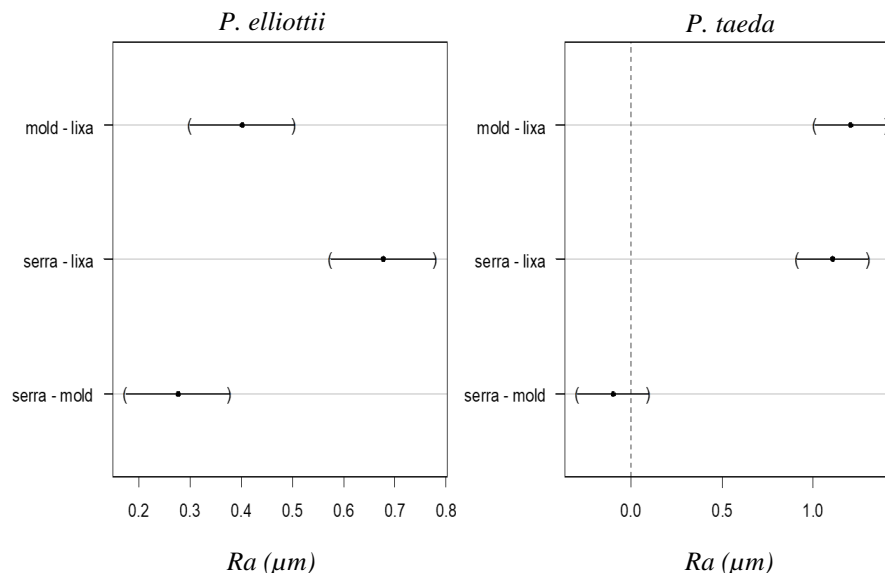
Espécie	Processo (1-2)	Médio	Valores	
			Processo 1	Processo 2
<i>Pinus elliottii</i>	Moldureira - lixa	0,40	0,29	0,50
	Serra - lixa	0,67	0,57	0,77
	Serra - moldureira	0,27	0,17	0,37
<i>Pinus Taeda</i>	Moldureira - lixa	1,20	1,01	1,40
	Serra - lixa	1,10	0,91	1,30
	Serra - moldureira	-0,09*	-0,29	0,09

\*Sinal negativo representa o índice do vale da rugosidade, para as análises de resultados foram usados os números absolutos, ou seja, sem a variação de sinais.

A diferença entre os valores dos processos 1 e 2 resultou no valor médio, o qual, para a espécie *P. elliottii* no processo de moldureira-lixas foi de 0,40, serra-lixas de 0,67 e serra-moldureira de 0,27. Para a espécie *Pinus taeda*, o valor médio encontrado no processo de moldureira-lixas foi de 1,20, serra-lixas de 1,10 e serra-moldureira de -0,09, podendo concluir que a maior variação ocorreu na espécie de *P. taeda*.

Na Figura 31 está apresentado o comparativo das duas espécies em relação à rugosidade comparada aos processos de usinagem.

Figura 31 – Gráfico do comparativo par a par da rugosidade gerada nos processos de lixa, moldureira e serra das duas espécies de *Pinus*.



É possível verificar através do gráfico representado na Figura 31, que houve diferença significativa nos três processos inerentes à espécie de *P. elliottii*. Os processos que envolvem a serra, tendem a proporcionar maior rugosidade. Para a espécie de *P. taeda* ocorreu diferença significativa apenas entre os processos moldureira-lixas e moldureira-serra, o que leva a



acreditar que, de fato, *Pinus taeda* é uma madeira mais macia e menos resistente às ações mecânicas externas (PRATA, 2010).

De acordo com os resultados de Tan *et al.* (2012), superfície de madeira lixada é caracterizada por irregularidades de processamento e irregularidades anatômicas da estrutura heterogênea da madeira. Ayrilmis *et al.* (2012) afirmam que as indústrias produtoras de painéis tratam as características de superfície (rugosidade) como uma importante medida na determinação da qualidade do produto final. Zhong *et al.* (2013) acrescentam que superfícies lisas proporcionam uma menor aderência de adesivos utilizados em processos de colagem.

#### 4.5 ESTABILIDADE DA SUPERFÍCIE USINADA

Os ensaios de verificação da estabilidade das superfícies usinadas propõe a certificação dos requisitos desejáveis no processo de usinagem para a garantir a qualidade de colagem na formação de painéis *EGP*. O ângulo de 90° faz com que o painel esteja no esquadro, permitindo uma uniformidade no processo de prensagem e garantindo a uniformidade da linha de cola. Na Tabela 10 estão apresentados os resultados da determinação entre o ângulo de contato com a face superior usinada das ripas de madeira das duas espécies de *Pinus*.

Tabela 10 – Resultado comparativo do ângulo de contato com a face superior usinada.

Espécie	Umidade (%)	Processo	Ângulo (esquerdo) (°)	Ângulo (direito) (°)
<i>Pinus elliottii</i>	8	Moldureira	90,59 ± 0,08 <sup>a</sup>	90,25 ± 0,02 <sup>a</sup>
		Serra	89,64 ± 0,01 <sup>a</sup>	89,99 ± 0,02 <sup>a</sup>
		Lixa	90,97 ± 0,18 <sup>a</sup>	88,84 ± 0,28 <sup>a</sup>
	15	Moldureira	89,87 ± 0,16 <sup>a</sup>	89,83 ± 0,16 <sup>a</sup>
		Serra	89,66 ± 0,01 <sup>a</sup>	90,00 ± 0,01 <sup>a</sup>
		Lixa	90,01 ± 0,02 <sup>a</sup>	89,87 ± 0,08 <sup>a</sup>
<i>Pinus taeda</i>	8	Moldureira	90,25 ± 0,05 <sup>b</sup>	90,25 ± 0,01 <sup>b</sup>
		Serra	89,72 ± 0,01 <sup>b</sup>	89,99 ± 0,01 <sup>a</sup>
	15	Lixa	90,55 ± 0,07 <sup>b</sup>	89,19 ± 0,13 <sup>a</sup>
		Moldureira	89,46 ± 0,02 <sup>a</sup>	89,62 ± 0,08 <sup>a</sup>
		Serra	89,70 ± 0,08 <sup>a</sup>	89,97 ± 0,02 <sup>a</sup>
	Lixa	89,41 ± 0,02 <sup>a</sup>	90,63 ± 0,01 <sup>a</sup>	

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de  $\alpha \geq 95\%$  de confiança pelo teste t de Student.

Foi avaliado o ângulo de contato do adesivo com a face superior usinada das duas espécies de *Pinus*, com variações dos teores de umidade (8 e 15 %) e processos de usinagem (moldureira,

serra e lixa). A variação do ângulo esquerdo que apresentou maior diferença foi ocasionada na espécie de *Pinus elliottii*, com teor de umidade de 8% no processo de lixamento, cujo valor foi 90,97 °, enquanto para o ângulo direito, a maior variação foi na espécie de *Pinus elliottii*, com teor de umidade de 8 %, no processo de lixamento, sendo 88,87 °.

Na Tabela 11 estão apresentados os resultados de paralelismo entre as faces das ripas.

Tabela 11 – Valor médio do paralelismo entre faces usinadas das ripas de madeira.

<b>Espécie</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Processo de produção</b>	<b>Paralelismo entre faces (mm)</b>
<i>Pinus elliottii</i>	8	Moldureira	0,06± 0,005
		Serra	0,03± 0,008
		Lixa	0,39± 0,010
	15	Moldureira	0,04± 0,003
		Serra	0,04± 0,001
		Lixa	0,03± 0,001
<i>Pinus taeda</i>	8	Moldureira	0,03± 0,006
		Serra	0,11± 0,027
		Lixa	0,03± 0,004
	15	Moldureira	0,07± 0,009
		Serra	0,19± 0,016
		Lixa	0,10± 0,018

O paralelismo entre as faces usinadas nas duas espécies que apresentou a maior diferença em relação ao valor de origem foi de 0,390 mm encontrada na espécie de *P. elliottii*, com teor de umidade de 8 %, no processo de lixamento.

Conforme Miranda (1998), problemas dimensionais mais severos, podem muitas vezes levar ao descarte da tábuas. Segundo Amparato (2009), em função da largura das ripas produzidas apresentar dimensões pequenas, o “empenamento” observado em seus estudos foi relativamente baixo, com média de 1,62 mm na condição seca, valor acima do encontrado no presente trabalho.

A adesão entre componentes de madeira depende de vários fatores e parâmetros relacionados às características do material a ser colado, do procedimento adotado na colagem, do adesivo empregado, da forma geométrica e do tamanho das peças a serem coladas (VITAL *et al.*, 2006). Nos estudos do módulo de elasticidade à flexão em painéis *EGP* com diferentes larguras de sarrafos e diferentes tipos de junção, Ozkaya (2011) concluiu que não houve

diferença nos valores encontrados quando se modificou o plano de corte das ripas na formação dos painéis *EGP*.

#### 4.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS DA COLA

Na Tabela 12 estão apresentadas as propriedades físico-químicas do adesivo, do catalisador e da mistura destes (cola).

Tabela 12 – Propriedades físico-químicas do adesivo.

<b>Propriedades físico-químicas do adesivo</b>						
<b>Propriedades</b>	Adesivo EPI - 1975		Catalisador -1993		Cola	
	Especificação *	Obtido	Especificação *	Obtido	Especificação *	Obtido
Viscosidade (mPas)	7000 - 20000	7880	150 - 450	230	N.A	6420
Teor de sólidos (%)	N.A	62,72	N.A	99,16	N.A	58,97
pH (25 °C)	5,5 – 8,5	6,2	N.A	8,0	N.A	6,5
Densidade kg/m <sup>3</sup>	1290	1260	1240	1230	N.A	1242

Especificação\* - informação técnica do manual técnico do fabricante Akzo Nobel LTDA

N.A – Não apresentado

Na Tabela 12, verifica-se que os resultados obtidos para o adesivo, catalisador e cola estão de acordo com os fornecidos pelas especificações técnicas do fabricante. Segundo resultados apresentados por Bila (2014), o adesivo PVAc apresentou viscosidade 3879 cPs, enquanto, o adesivo EPI apresentou viscosidade de 6310 cPs, sendo valor similar ao encontrado no presente trabalho. De acordo com Iwakiri (2005), a viscosidade é variável em decorrência da temperatura de trabalho. Adesivos com baixa viscosidade podem proporcionar maior penetração do adesivo.

O teor de sólidos encontrados para a cola (adesivo catalisado), foi de 58,97 %, valor que se aproximou do encontrado por Bila (2014), que foi de 45,3 %. E notável que o adesivo após catalisado apresenta teor de sólido menor, quando comparado ao valor encontrado para o adesivo EPI (62,72 %) e para o catalisador (99,16 %), este fator fica bastante relevante na etapa de cura do adesivo EPI catalisado, evidenciando que ocorre reação dos grupos de isocianatos.

Os potenciais hidrogeniônicos das amostras variaram entre 6,2 e 8,0, enquanto, a densidades dos produtos foram entre 1230 e 1260 kg/m<sup>3</sup>, coincidindo com as especificações do fabricante, mantendo-se adequados à utilização no processo de formação de painéis estudo.

#### 4.7 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS JUNTAS COLADAS

Foram realizadas a análise estatística das propriedades de resistência mecânica e a análise de variância (normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilks, e homogeneidade de variâncias, pelo teste de Bartlett). Tukey foi empregado ao nível de significância de 5%, para identificar as diferenças. Todas as análises foram realizadas empregando o *software R Studio* com interface ao pacote de *R commander*.

##### 4.7.1 Cisalhamento na linha de cola

Na Tabela 13 estão apresentados os valores médios de resistência ao cisalhamento (deformação na tração, tensão de ruptura e força máxima) das duas espécies de madeira.

Tabela 13 – Valores médios da resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Ensaio	Variáveis	Processos	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Deformação na tração de cisalhamento (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	5,92 ± 1,03 <sup>a</sup>	6,99 ± 0,95 <sup>a</sup>
		Moldureira	7,41 ± 1,46 <sup>a</sup>	6,79 ± 1,10 <sup>a</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Lixa	6,81 ± 1,88 <sup>a</sup>	6,64 ± 0,74 <sup>a</sup>
		Moldureira	10,15 ± 0,55 <sup>a</sup>	6,21 ± 0,70 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Lixa	10,22 ± 0,47 <sup>a</sup>	9,45 ± 1,23 <sup>a</sup>
		Moldureira	5,76 ± 1,82 <sup>a</sup>	8,38 ± 0,63 <sup>b</sup>
	Serra	5,65 ± 0,46 <sup>a</sup>	7,22 ± 0,74 <sup>b</sup>	
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Serra	8,41 ± 0,30 <sup>a</sup>	8,12 ± 0,94 <sup>a</sup>
Tensão de ruptura no cisalhamento da linha de cola (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	127,35 ± 15,09 <sup>a</sup>	94,57 ± 25,95 <sup>b</sup>
		Serra	96,50 ± 9,57 <sup>a</sup>	87,22 ± 14,19 <sup>a</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Lixa	137,03 ± 17,67 <sup>a</sup>	149,36 ± 20,66 <sup>a</sup>
		Moldureira	87,90 ± 12,84 <sup>a</sup>	144,77 ± 15,18 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Moldureira	105,33 ± 25,95 <sup>a</sup>	104,43 ± 30,36 <sup>a</sup>
		Serra	122,36 ± 18,39 <sup>a</sup>	108,46 ± 18,15 <sup>a</sup>
Força máxima no cisalhamento da linha de cola (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	1100,32 ± 130,39 <sup>a</sup>	817,12 ± 124,29 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Serra	833,75 ± 82,73 <sup>a</sup>	753,51 ± 122,64 <sup>b</sup>
		Lixa	1183,92 ± 152,72 <sup>a</sup>	1290,50 ± 178,55 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Moldureira	759,44 ± 110,98 <sup>a</sup>	1250,80 ± 131,20 <sup>b</sup>

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística de 95 % de confiança pelo teste t de Student.

Verifica-se por meio da Tabela 13, que os maiores valores encontrados para o cisalhamento paralelo a linha de cola nas espécies de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* foram 137,030 kgf/cm<sup>2</sup> e 149,360 kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente, e foram obtidos no processo de lixamento das ripas de 45 mm de espessura e com teor de umidade de 15%. Dentre as duas espécies estudadas, a predominância dos melhores resultados foi para a espécie *Pinus taeda*, contudo as duas espécies de madeira atenderam os requisitos mínimos estabelecidos em norma ASTM D 5751 (1999).

A norma EN 205 (2002) determina que os requisitos mínimos são o 5º percentil do grupo de amostras do cisalhamento na linha de cola, deve ser maior ou igual a 25,49 kgf/cm<sup>2</sup>. Para os ensaios realizados sem pré tratamento, ou seja, na condição seca, observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores superiores ao requisitado para o quinto percentil inferior especificados pela norma.

Segundo Almeida (2015), em seus estudos com a espécie de madeira *Cupressus lusitânica mill* utilizando diferentes adesivos e gramaturas, o adesivo EPI com 200 g/m<sup>2</sup> e uniões *finger* apresentaram os melhores resultados e foram estatisticamente iguais entre si com pré tratamento a seco. O autor ainda descreve que a maior resistência (T<sub>máx</sub>) do adesivo EPI foi apresentada pela gramatura de 180 g/m<sup>2</sup>. Em estudos de Fonte (2016), o tratamento que apresentou maior valor de resistência ao cisalhamento para os ensaios em condição seca foi o uso de cola EPI com gramatura de 120 g/m<sup>2</sup> e tempo de prensagem de 1 hora (93,81 kgf/cm<sup>2</sup>) para madeira de *cryptomeria japônica*.

Em relação ao trabalho de Iwakiri *et al.* (2015), o conjunto que apresentou o maior resultado de resistência ao cisalhamento, de 140,41 kgf/cm<sup>2</sup>, foi a espécie *Eschweilera coriácea* combinada com o adesivo EPI na gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>. O presente estudo apresentou maior resistência na linha de cola que painéis de *P. taeda* obtidos por Lopes *et al.* (2013), nos quais usados os adesivos PVA (73,52 kgf/cm<sup>2</sup>) e EPI (77,80 kgf/cm<sup>2</sup>). Beraldo e Dias (2010), avaliando a resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano para *Pinus elliottii*, verificaram que a proporção 1,5:1 foi a que ocasionou maior resistência ao cisalhamento, na etapa a seco, 65,77 kgf/cm<sup>2</sup>, valor este menor ao encontrados neste trabalho.

De acordo com os estudos de Lopes *et al.* (2013), o adesivo PVA com a gramatura de 200 g/m<sup>2</sup>, avaliando a seco com madeira de *Pinus taeda*, apresentaram resistência ao cisalhamento de 73,41 kgf/cm<sup>2</sup>, valor este inferior ao encontrado neste estudo. Para a condição úmida, Lopes *et al.* (2013) encontraram para o *Pinus taeda* colado com adesivo EPI apresentou os valores de 35,69 kgf/cm<sup>2</sup> para a orientação radial e 29,57 kgf/cm<sup>2</sup> para a orientação tangencial.

O baixo desempenho das juntas coladas com adesivos PVA ocorre pela simples evaporação da umidade do solvente empregado na sua composição, enquanto no EPI, ocorre reação dos isocianatos com os grupos de hidroxilas da madeira, tornando a ligação mais forte.

A maior deformação de ruptura encontrada no grupo de amostras foi de 10,22 mm na espécie de *Pinus elliottii* para painéis formados com ripas de 45 mm, teor de umidade de 15% e processo de lixamento, este valor se encontra adequado de acordo com NBR 7190 (1997). A força máxima no cisalhamento da linha de cola foi apresentada no processo com lixa ripas de 45 mm e com teor de umidade de 8%, sendo esta de 1100,320 N.

#### 4.7.2 Resistência da lâmina de cola à tração

Na Tabela 14 estão apresentados os valores médios da resistência da lâmina de cola a tração (deformação na tração, tensão de ruptura e força máxima) das duas espécies de madeira

Tabela 14 – Valores médios da resistência da lâmina de cola à tração.

Ensaio	Variáveis	Processos	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Deformação na tração da linha de cola (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 15%	Moldureira	0,28 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,08 <sup>a</sup>
		Serra	0,19 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,24 ± 0,03 <sup>a</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Lixa	0,30 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,07 <sup>b</sup>
		Moldureira	0,25 ± 0,11 <sup>a</sup>	0,32 ± 0,16 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Serra	0,28 ± 0,12 <sup>a</sup>	0,21 ± 1,18 <sup>a</sup>
		Moldureira	0,19 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,05 <sup>a</sup>
Tensão de ruptura na tração da linha de cola (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	19,33 ± 3,63 <sup>a</sup>	28,44 ± 3,91 <sup>b</sup>
		Moldureira	18,10 ± 4,80 <sup>a</sup>	25,07 ± 6,65 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Moldureira	25,14 ± 4,72 <sup>a</sup>	33,92 ± 8,92 <sup>a</sup>
		Moldureira	20,86 ± 5,27 <sup>a</sup>	28,22 ± 10,27 <sup>a</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Serra	18,82 ± 3,73 <sup>a</sup>	21,68 ± 4,42 <sup>a</sup>
		Lixa	22,96 ± 7,22 <sup>a</sup>	24,80 ± 4,24 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Moldureira	19,17 ± 6,05 <sup>a</sup>	19,74 ± 5,77 <sup>b</sup>
		Serra	22,97 ± 3,59 <sup>a</sup>	20,86 ± 3,60 <sup>a</sup>
Força máxima na tração da linha de cola (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	98,98 ± 18,59 <sup>a</sup>	144,96 ± 19,50 <sup>b</sup>
		Moldureira	92,82 ± 24,15 <sup>a</sup>	131,40 ± 36,05 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Moldureira	104,43 ± 19,72 <sup>a</sup>	171,03 ± 45,35 <sup>b</sup>
		Moldureira	107,42 ± 27,15 <sup>a</sup>	110,38 ± 44,35 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Lixa	117,85 ± 38,73 <sup>a</sup>	129,32 ± 21,27 <sup>b</sup>
		Moldureira	105,33 ± 25,95 <sup>d</sup>	104,43 ± 30,36 <sup>a</sup>
Ripa 60 mm e umidade 15%	Serra	122,36 ± 18,39 <sup>a</sup>	108,46 ± 18,15 <sup>a</sup>	

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 95 % de confiança pelo teste t de Student.

Os maiores valores encontrados para a resistência da linha de cola foram para a espécie de *Pinus taeda* de 33,92 kgf/cm<sup>2</sup> e 28,44 kgf/cm<sup>2</sup>, e foram obtidos no processo de lixamento das ripas de 45 mm de espessura e com teor de umidade de 8% e do processo de molduramento das ripas de 45 mm de espessura e com teor de umidade de 15%. Para a primeira condição, a força máxima utilizada foi de 171,03 N, enquanto na segunda, foi obtido um valor de 144,96 N de força máxima durante o ensaio.

A deformação na tração variou de 0,190 a 0,327 mm nas duas espécies. Dentre as espécies estudadas, a predominância dos melhores resultados foi para a espécie *Pinus taeda*.

Em estudos de Almeida (2015) sobre avaliação da qualidade da colagem da madeira de *Cupressus lusitanica mill.* para a produção de painéis colados lateralmente, os tratamentos usando a cola EPI, com 180 g/m<sup>2</sup> e uniões *finger* (189,3613 kgf/cm<sup>2</sup>) e cola EPI, com 200 g/m<sup>2</sup> e uniões *finger* (155,60 kgf/cm<sup>2</sup>) apresentaram os melhores resultados e foram estatisticamente iguais entre si com pré tratamento a seco, observando que estes valores foram próximos aos encontrados neste trabalho. Na avaliação feita por MEV, Almeida (2015) relata que o processo com cola EPI, com 200 g/m<sup>2</sup> e uniões *finger*, apresenta cobertura uniforme da superfície da madeira com baixa porosidade.

Conforme Almeida (2015), o aumento da gramatura nas peças coladas não representa essencialmente uma maior aderência à madeira. Em seus estudos utilizando o adesivo PVA, a baixa permeabilidade na estrutura da parece celular faz como que o adesivo permaneça na superfície da madeira, e a elasticidade faz com que a linha de cola auxilie na distribuição uniforme das tensões, contudo, na tração da emenda colada apresentam menor resistência.

Prata (2010) avaliou o uso do adesivo PVA em diferentes madeiras e a espécie *P. caribaea* var. *hondurensis*, apresentou o maior valor médio de resistência a tração da emenda dentre as cinco espécies estudadas (309,68 kgf/cm<sup>2</sup>). O *Pinus taeda* que apresentou maior resistência da linha de cola, 260,43 kgf/cm<sup>2</sup>. O autor ressalta ainda que junção *finger joint* utilizada confere maior resistência ao esforço de tração.

Vital, Maciel e Della Lucia (2006) avaliaram a resistência ao cisalhamento de dois adesivos comerciais PVA de alta e baixa viscosidade aplicados a madeira de *Pinus elliottii* e encontraram valores de tensão de ruptura de 54,09 kgf/cm<sup>2</sup> e 56,44 kgf/cm<sup>2</sup>, valores maiores do que os encontrados no presente trabalho.

Conforme Prata (2010), seis espécies de *Pinus* estudadas foram divididas em dois grupos estatisticamente diferentes pelo teste de médias, sendo que no inferior se encontrava o *Pinus taeda* e no outro grupo com resistência superior às demais espécies, encontrava-se o *Pinus hondurensis*, mostrando desta forma que pode ocorrer diferença estatística entre as

espécies. Uma explicação desse tipo de comportamento, se relaciona à influência da quantidade de extrativos totais e da densidade da madeira e em função disto, a penetração do adesivo ocorre mais facilmente.

#### 4.7.3 Resistência da emenda dentada do tipo *finger joint*

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios da resistência à tração da emenda dentada (deformação na tração, tensão de ruptura e força máxima) das duas espécies de madeira.

Tabela 15 – Valores médios da resistência da emenda dentada do tipo *finger joint* em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Ensaio	Variáveis	Processos	<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus taeda</i>
Deformação na tração da emenda <i>finger joint</i> (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	8,80 ± 3,30 <sup>a</sup>	14,09 ± 4,33 <sup>a</sup>
		Moldureira	8,87 ± 3,71 <sup>a</sup>	16,72 ± 5,71 <sup>a</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Lixa	8,56 ± 1,91 <sup>a</sup>	6,64 ± 0,74 <sup>a</sup>
		Serra	11,47 ± 3,73 <sup>a</sup>	10,48 ± 5,20 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Lixa	6,32 ± 2,29 <sup>a</sup>	6,87 ± 1,83 <sup>b</sup>
		Moldureira	9,19 ± 6,18 <sup>a</sup>	9,52 ± 4,89 <sup>a</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 15%	Lixa	7,52 ± 2,14 <sup>a</sup>	9,96 ± 3,08 <sup>a</sup>
		Moldureira	7,57 ± 2,51 <sup>a</sup>	9,21 ± 2,43 <sup>a</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 8%	Serra	7,45 ± 3,74 <sup>a</sup>	8,31 ± 1,47 <sup>a</sup>
		Moldureira	0,40 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,02 <sup>a</sup>
Ripa 45 mm e umidade 8%	Serra	0,50 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,46 ± 0,04 <sup>a</sup>	
	Tensão de ruptura na tração da emenda <i>finger joint</i> (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	252,01 ± 58,68 <sup>a</sup>
Serra			209,44 ± 47,00 <sup>a</sup>	219,45 ± 18,88 <sup>b</sup>
Ripa 45 mm e umidade 15%		Lixa	177,92 ± 46,05 <sup>a</sup>	102,27 ± 14,96 <sup>b</sup>
		Lixa	155,70 ± 40,60 <sup>a</sup>	138,21 ± 40,13 <sup>a</sup>
Ripa 45 mm e umidade 15%		Moldureira	141,00 ± 34,26 <sup>a</sup>	165,03 ± 49,89 <sup>a</sup>
		Moldureira	185,92 ± 74,68 <sup>a</sup>	224,46 ± 31,72 <sup>b</sup>
Ripa 60 mm e umidade 15%	Serra	170,46 ± 71,05 <sup>a</sup>	262,64 ± 76,06 <sup>b</sup>	
Força máxima na tração da emenda <i>finger joint</i> (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e umidade 8%	Lixa	3019,67 ± 708,46 <sup>a</sup>	2373,21 ± 621,52 <sup>a</sup>
		Serra	2607,93 ± 563,35 <sup>a</sup>	2841,28 ± 318,59 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e umidade 15%	Lixa	2239,53 ± 108,82 <sup>a</sup>	883,65 ± 129,26 <sup>b</sup>
		Lixa	1682,90 ± 390,82 <sup>a</sup>	170,76 ± 49,13 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e umidade 8%	Serra	3170,43 ± 458,58 <sup>a</sup>	3211,34 ± 667,27 <sup>b</sup>
		Moldureira	2148,83 ± 799,18 <sup>a</sup>	3180,65 ± 1020,93 <sup>b</sup>
Ripa 60 mm e umidade 15%	Serra	2280,66 ± 887,99 <sup>a</sup>	2785,89 ± 344,11 <sup>a</sup>	

\*Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste t de Student ao nível de 95% de confiança. Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística ao nível de 95 % de confiança pelo teste t de Student.



A avaliação da qualidade da colagem das emendas *finger joint*, foi realizada a partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração com pré tratamento à seco de acordo com a norma ASTM 5572 (2006), onde os corpos de prova foram submetidos à tração à seco referente à etapa de classificação de cola visando atingir requisitos mínimos de resistência à tração estática.

Dentre dos parâmetros avaliados, a espécie que apresentou o maior valor (262,640 kgf/cm<sup>2</sup>) de resistência à tração das emendas *finger joint* foi a espécie e *Pinus taeda*, com ripas de 45 mm, teor de umidade de 15% e processo de serra.

Prata (2010) obteve resultados na espécie *Cryptomeria japonica* inferiores para o pré-tratamento a seco de *Pinus tecunumanii* (419,10 kgf/cm<sup>2</sup>) e *Pinus taeda* (337,53 kgf/cm<sup>2</sup>) na de resistência à tração da emenda *finger joint*.

Serrano (2009) obteve valores de resistência à tração da emenda de 510,26 kgf/cm<sup>2</sup> na cola de nome comercial Cascophen (adesivo sintético a base de resorcinol-formol em solução aquoso-alcoólica) e resistência da emenda *finger* de 270,53 kgf/cm<sup>2</sup> no adesivo Wonderbond (adesivo em emulsão polimerizada com isociano fluido).

Os resultados obtidos para as emendas *finger joint* para o ensaio de tração, foram comparados com o valor mínimo de resistência à tração estipulados na norma ASTM 5572 (2006), de 140,720 kgf/cm<sup>2</sup>, para os ensaios realizados na condição seca, demonstrando assim que os resultados encontrados no presente estudo estão de acordo do padrão mínimo exigido.

A força máxima aplicada no momento de ruptura é bastante significativa. A força de rompimento aplicada foi de 3211,34 N em uniões *finger* oriunda do processo com serra, ripa de 60 mm, teor de umidade de 8% para a espécie de *Pinus taeda*.

#### **4.7.4 Análise de componentes principais (PCA)**

Com a análise de componentes principais foi possível construir os gráficos bidimensionais contendo a informação estatística relevantes para cada processo de fabricação (moldureira, lixa e serra).

A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de molduramento, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram juntos 55,9 % da variância total dos dados (Figura 32 e Tabela 16). A variável de força máxima à tração foi mais relacionada ao eixo principal 1, que explicou 29,8 % da variância. As variáveis de força máxima *finger* e tensão *finger* estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, que explicou 26,1 % da variância.

Figura 32 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 29,8 % e 26,1 % da variância dos dados, respectivamente.

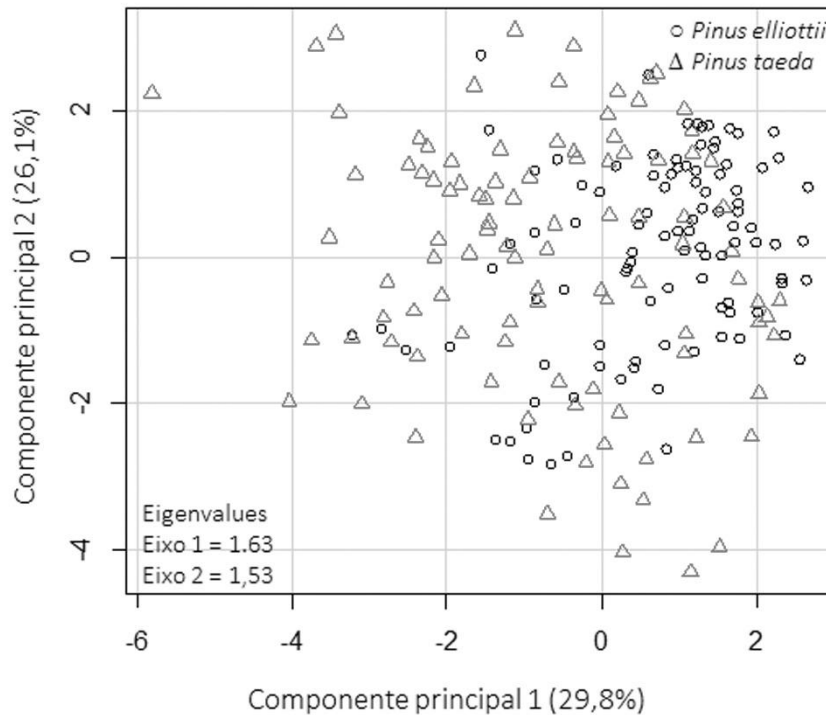


Tabela 16 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com moldureira em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

<b>Componentes de carga</b>	<b>Componente 1</b>	<b>Componente 2</b>
Deformação ao cisalhamento	0,04	-0,17
Deformação Finger	-0,35	-0,29
Deformação à tração	-0,28	0,15
Força máxima ao cisalhamento	0,24	-0,40
Força máxima Finger	-0,36	-0,46
Força máxima à tração	-0,46	0,21
Tensão ao cisalhamento	0,25	-0,41
Tensão Finger	-0,36	-0,46
Tensão à tração	-0,44	0,20
Desvio padrão	1,63	1,53
Porcentagem do total da variância explicada (%)	29,8	26,1

A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de serra, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram juntos 52,6 % da variância total dos dados (Figura 33 e Tabela 17). As variáveis de força máxima *finger* e tensão *finger* foram as mais relacionadas ao

eixo principal 1, que explicaram 30,1 % da variância. As variáveis de força máxima à tração e tensão à tração estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, que explicou 22,5 % da variância.

Figura 33 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 30,1 % e 22,5 % da variância dos dados, respectivamente.

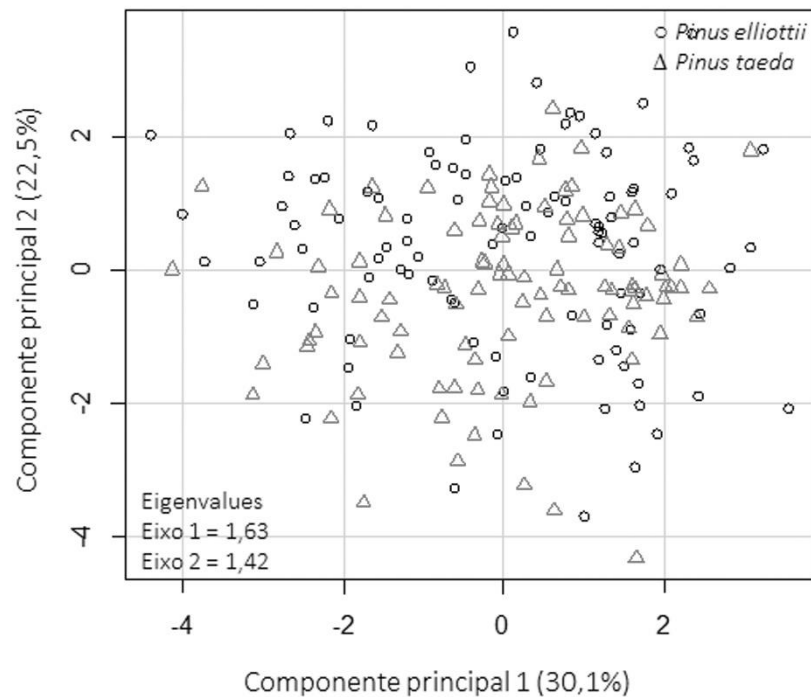


Tabela 17 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com serra em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Componentes de carga	Componente 1	Componente 2
Deformação ao cisalhamento	0,14	-0,17
Deformação <i>Finger</i>	-0,34	0,09
Deformação à tração	-0,04	0,03
Força máxima ao cisalhamento	-0,38	-0,28
Força máxima <i>Finger</i>	-0,53	0,03
Força máxima à tração	0,08	-0,62
Tensão ao cisalhamento	-0,38	-0,28
Tensão <i>Finger</i>	-0,52	0,07
Tensão à tração	0,07	-0,63
Desvio padrão	1,63	1,42
Porcentagem do total da variância explicada (%)	30,1	22,5

A análise de componentes principais (PCA), referente ao processo de lixa, mostrou que os dois primeiros eixos explicaram juntos 58,5 % da variância total dos dados (Figura 34 e Tabela 18). A variável de deformação *finger* foi a mais relacionada ao eixo principal 1, que explicaram 30,3 % da variância. As variáveis de força máxima *finger* e tensão *finger* estiveram mais relacionadas ao eixo principal 2, que explicou 28,2 % da variância.

Figura 34 – Análise de componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Os dois primeiros eixos principais explicam 30,3 % e 28,2 % da variância dos dados, respectivamente.

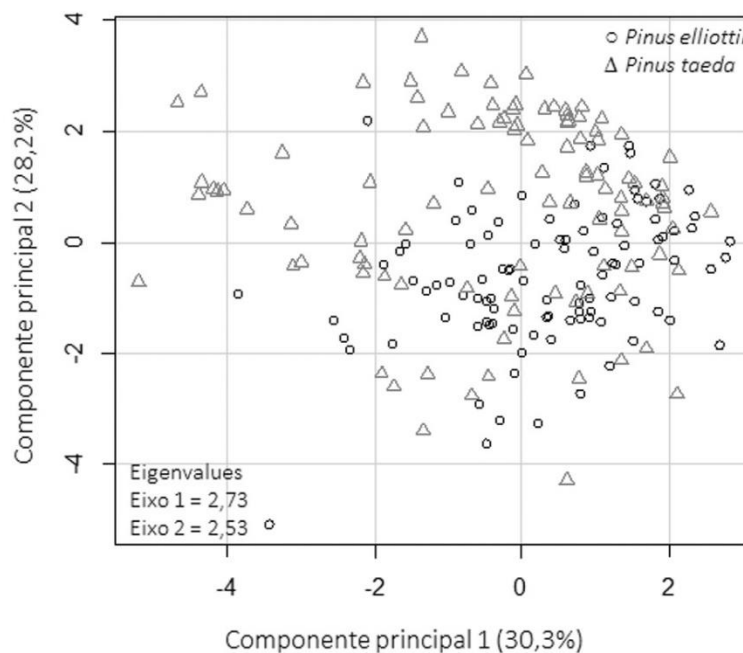


Tabela 18 – Componentes principais das variáveis mecânicas do processo com lixa em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*.

Componentes de carga	Componente 1	Componente 2
Deformação ao cisalhamento	0,20	0,18
Deformação <i>finger</i>	-0,43	-0,28
Deformação à tração	-0,31	0,18
Força máxima ao cisalhamento	0,32	-0,37
Força máxima <i>finger</i>	-0,35	-0,44
Força máxima à tração	-0,33	0,24
Tensão ao cisalhamento	0,32	-0,37
Tensão <i>finger</i>	-0,30	-0,49
Tensão à tração	-0,34	0,25
Desvio padrão	1,65	1,59
Porcentagem do total da variância explicada (%)	30,3	28,2

Pela análise das componentes principais que representam combinações lineares de um grupo de variáveis sob estudo é possível verificar que os resultados dos ensaios apresentaram maior variância nos eixos ortogonais 1 e 2.

A variância acumulada dos dois primeiros eixos foi de 55,9 % para o processo com moldureira, 52,6 % para processo com serra e 58,5 % para processo com lixa. Nos três processos, a força máxima *finger* foi a variável mais relacionada aos melhores resultados na resistência mecânica de painéis sarrafeados do tipo *EGP* colada com cola a EPI a base de emulsão polimérica de isocianato.

#### 4.7.5 Resistência térmica da colagem

As médias referentes ao percentual de falha das juntas coladas com o adesivo EPI nas duas espécies de *Pinus*, especificados pela norma ASTM D 3110 (ASTM, 1994), estão representadas na Tabela 19 (painéis *EGP* de *Pinus elliottii*) e na Tabela 20 (painéis *EGP* de *Pinus taeda*).

Tabela 19 – Percentual de abertura das linhas de cola dos painéis *EGP* de *Pinus elliottii* em quatro diferentes temperaturas

Processo	Ripa* (mm)	Umidade (%)	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	Total de aberturas
Lixa	45	8	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,10%
Moldureira	45	8	0,76%	0,34%	0,60%	0,00%	1,69%
Serra	45	8	0,68%	1,93%	0,42%	0,89%	3,91%
Lixa	45	15	0,83%	0,36%	0,16%	0,16%	1,51%
Moldureira	45	15	0,00%	0,16%	0,26%	0,05%	0,47%
Serra	45	15	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,05%
Lixa	60	8	0,11%	0,00%	0,00%	0,05%	0,16%
Moldureira	60	8	0,16%	0,16%	0,05%	0,11%	0,49%
Serra	60	8	0,05%	0,05%	0,00%	0,00%	0,11%
Lixa	60	15	0,05%	0,05%	0,05%	0,00%	0,16%
Moldureira	60	15	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%	0,11%
Serra	60	15	0,38%	0,54%	0,22%	0,16%	1,30%

\*Largura da ripa (mm) usada na formação dos painéis *EGP*

Dentre as variações estudadas (espécie de madeira, tipo de processo de usinagem, espessura da ripa e teor de umidade), é possível verificar pela Tabela 19 que na avaliação da

resistência térmica da linha de colagem, o melhor resultado foi de 0,05 % de abertura total, para painéis *EGP* de *Pinus* formados pelo processo de serra, com teor de umidade de 15 % e ripas de 45 mm. O pior resultado foi de 3,91 %, para painéis *EGP* de *Pinus* formados pelo processo de serra, com teor de umidade de 8 % e ripas de 45 mm. Neste caso, houve uma tendência de aumento de abertura de linha de cola com o aumento da temperatura.

De acordo com os estudos realizados por Murara (2010), em painéis maciços tanto da espécie *Pinus taeda* quanto da espécie *Tectona grandis*, as maiores aberturas de suas linhas de cola ocorreram a 80 °C, contudo podem variar na escala de temperatura.

Tabela 20 – Percentual de abertura das linhas de cola dos painéis *EGP* de *Pinus taeda* em quatro diferentes temperaturas

Processo	Ripa* (mm)	Umidade (%)	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C	Total de aberturas
Lixa	45	8	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,10%
Moldureira	45	8	0,39%	0,34%	0,26%	0,91%	1,90%
Serra	45	8	0,00%	0,00%	0,10%	0,05%	0,16%
Lixa	45	15	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Moldureira	45	15	0,00%	0,00%	0,31%	0,16%	0,47%
Serra	45	15	0,00%	0,10%	0,36%	0,16%	0,63%
Lixa	60	8	0,27%	0,38%	0,05%	0,00%	0,71%
Moldureira	60	8	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Serra	60	8	0,11%	0,27%	0,38%	0,27%	1,03%
Lixa	60	15	0,00%	0,05%	0,38%	0,11%	0,54%
Moldureira	60	15	0,38%	0,05%	0,05%	0,11%	0,60%
Serra	60	15	0,27%	0,27%	0,11%	0,27%	0,92%

\*Largura da ripa (mm) usada na formação dos painéis *EGP*

Na avaliação da resistência térmica da linha de colagem para o *Pinus taeda* apresentada pela Tabela 20, o melhor resultado encontrado foi a não ocorrência de abertura de linha de cola em duas classificações diferentes, sendo a primeira, para painéis de formados pelo processo de lixa, com teor de umidade de 15 % e ripas de 45 mm, e a segunda, para painéis de formados pelo processo de moldureira, com teor de umidade de 8 % e ripas de 60 mm. O pior resultado foi de 1,90 %, para os painéis *EGP* de *Pinus* formados pelo processo de moldureira, com teor de umidade de 8 % e ripas de 45 mm, os quais apresentaram aumento na abertura de linha de cola a 80 °C.

De acordo com manual do fabricante de cola Akzo Nobel, a resistência à umidade e variações de temperatura será atingida, aproximadamente, depois de 14 dias. A temperatura da linha de cola não deve ser superior à 70 °C, confirmando a boa resistência dos painéis estudados, que foram acondicionados em temperaturas superiores à especificada pelo fabricante do adesivo, apresentando resultados excelentes, demonstrado pelo baixo percentual de abertura das linhas de colas em função da variação das temperaturas.

De acordo com Nascimento *et al.* (2013), fatores associados a pressão de prensagem, densidade da madeira e tipo de adesivo empregado são relevantes para obtenção de melhores resultados de resistência da linha de cola.

Conforme os registros do Laboratório de Tecnologia da Madeira e Mobiliário (LTMM), diversas amostras com colagem testadas têm apresentado valores médios de aberturas inferiores a 10%, valor este considerado satisfatório tomando-se como referência o método de ensaio e os resultados que apresentaram 0,71 % de abertura de linha de cola, abaixo do padrão de referência.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi avaliada a influência de alguns parâmetros de produção que interferem na interação madeira-adesivo e adesão da linha de cola em painéis de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* colados lateralmente com adesivo a base de emulsão polimérica de isocianato (EPI), visando a resistência mecânica da linha de cola.

Por meio das análises empregadas foi possível identificar as variáveis do processo que apresentam melhor comportamento para a colagem dos painéis EGP. Com base nas análises realizadas e nos resultados avaliados, pode-se concluir que a espécie de *Pinus elliottii* é mais densa, quando comparada com a espécie de *Pinus taeda*, porém a diferença de densidade não é significativa para as resistências mecânicas avaliadas.

Em decorrência da menor massa específica, as amostras de *Pinus taeda* apresentam maior permeabilidade, mostrando dessa forma melhor ancoramento mecânico e adesão das juntas coladas.

As duas espécies de *Pinus* apresentam traqueoides com elevado comprimento, diâmetro de lume mediano e parede celular espessa, permitindo uma ancoragem adequada para adesivos EPI.

As duas espécies de madeira apresentaram características físicas adequadas para a utilização em produtos colados e para a produção de painéis colados lateralmente.

As duas espécies de madeira foram classificadas com boa estabilidade dimensional. Quando comparada histologicamente a espécie de *Pinus elliottii* ao *Pinus taeda* a diferença não é acentuada para a produção de painéis EGP.

As espécies estudadas apresentaram teor de umidade médio que variaram de 7,82 até 15,16 %, faixa está considerada dentro de um limite recomendado pelo fabricante de adesivo, porém em função destes valores estarem numa faixa próxima, não influenciou significativamente o processo de colagem.

A rugosidade superficial da madeira mostrou-se importante na avaliação da qualidade do produto final. Em superfícies mais lisas, originadas de processos como o de lixamento, a adesão foi menor, assim os processos de usinagem com serra tendem a proporcionar melhores resultados na colagem, por apresentarem rugosidade superficial maior.



Para a indústria, o processamento com o auxílio de serra torna o processo produtivo mais eficiente, principalmente, em relação à quantidade de peças produzidas por hora ser maior que nos processos de lixamento e molduramento e o custo de operação ser menor.

As ripas com 60 mm apresentaram melhores resultados de resistência a adesão. Para a produção dos painéis, esse fator também desponta como vantagem competitiva operacional quando comparada com a dimensão de 45 mm, uma vez que é possível reduzir a etapa de desdobro e colagem em  $\frac{1}{4}$  de tempo e trabalho.

Na colagem de topo, a preferência é dada para produção de painéis com emenda *finger joint* pelo fato de ocorrer a melhor distribuição de tensões mecânicas.

Analisando os quesitos das normas e os valores de encontrados em trabalhos disponíveis na literatura, as duas espécies apresentaram valores mínimos exigidos tanto de falha na madeira quanto de resistência mecânica.

A utilização das duas espécies atende a expectativa de qualidade exigida pelo mercado consumidor. Porém, a espécie de *Pinus taeda* apresentou melhor resistência mecânica aos esforços mecânicos, processada com serra, ripa de 60 mm e emendas de topo.

**Sugestões para trabalhos futuros:**

- Aumentar o teor de umidade da madeira, verificando a influência nos processos de colagem.
- Avaliar por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV), se na formação da linha de cola ocorre diferença de distribuição do adesivo.
- Determinar as propriedades de superfície da madeira, tais como o ângulo de contato entre madeira/adesivo e a molhabilidade do adesivo.
- Avaliar a rugosidade superficial da superfície usinada por MEV.

## REFERÊNCIAS

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – **Estudo setorial 2009 da indústria de madeira processada mecanicamente**. Curitiba, 2009.

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – **Estudo setorial 2016 da indústria de madeira processada mecanicamente**. Curitiba, 2016.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 04/06/2017.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade**. NBR ISO 4287 – 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Amostragem e preparação para análise**. NBR 14660. 2004. 18 p

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Determinação da densidade básica**. NBR 11941. 2003. 24 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – Determinação do teor de umidade de cavacos – Método por secagem em estufa**. NBR 14929. 2017. 17 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira serrada de coníferas provenientes de reflorestamento, para usos geral: dimensões e lotes**. NBR 12498. 2017. 10 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do teor de sólidos por massa em tintas e produtos afim**. NBR 7340. 1982.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação do pH – método eletro métrico**. NBR 9251. 1986. 3 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projetos de estruturas de madeira**. NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107 p

ABRAF –ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS; **Anuário estatístico da ABRAF 2016** – ano base 2010. 130 p. – Brasília, DF, 2016.

AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; FRITZSONS, E.; JUNIOR, J. E. P. **Programa de melhoramento de *Pinus* da Embrapa Florestas**. Embrapa Florestas - Colombo, 2011. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 233).

ALMEIDA, N. F. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus var. elliottii* x *Pinus caribaea var. hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produção Florestal), Universidade de São Paulo – escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – São Paulo, 2011.

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

ALMEIDA, V. C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo ureia-formaldeído e dos compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum*** [dissertação]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2009.

ALVES, I. C. N.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; SILVA, H. D. **Caracterização tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de celulose kraft**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 167-174, jan. Mar., 2011.

AMOAHA, M.; KWARTENG, F. O.; DADZIE, P. K. **Bending properties and joint efficiency of some tropical hardwoods *Finger*-jointed in green and dry states**. J Indian Acad. Wood Sci. Bangalore, v. 11 n. 1, p. 57–64, June, 2014.

AMPARATO, K, F. **Qualidade da madeira serrada e dos painéis colados lateralmente obtidos de um plantio de *Eucalyptus saligna Smith* visando o segmento moveleiro**.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais. 2009.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5572:** Standard Specification for Adhesives Used for Finger Joints in Nonstructural Lumber Products. 2006.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D5751 – 99:** (reapproved 2005) Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 1995. 11 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1084 - 97:** **Standard test methods for viscosity of adhesives.** West Conshohocken: ASTM International, 1997.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3110:** Standard specification for adhesives used in nonstructural glued lumber products: Annual Book of A.S.T.M. Standards, Philadelphia, v. 15, v. 6,p. 184-192, 1994 b.

AYRILMIS, N., BENTHIEN, J. T., THOEMEN, H. **Effects of formulation variables on surface properties of wood plastic composites.** Composites Part B: Engineering, v. 43, n. 2 p. 325-331, 2012.

BAKAR, B. F. A, HIZIROGLU, S., TAHIR, P. M. **Properties of some thermally modified wood species.** Materials and Design, v. 43, p. 348–355, 2013.

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

BANKS, C. H. **Some observations on the quality of the timber of South African grown *Pinus caribaea* var. *caribaea* and var. *hondurensis*.** South African Forestry Journal, n. 102, p. 1-7, 1977.

BARBOUTIS, I.; VASILEIOU, V. **Strength of *Finger*-jointed beech wood (*Fagus sylvatica*) constructed with small *Finger* lengths and bonded with PU and PVAc adhesives.** International Conference “Wood Science and Engineering in the Third Millennium” – ICWSE, p. 359-364, 2013.

BERALDO, D. D.; DIAS, A. A. **Resistência ao cisalhamento do adesivo poliuretano (óleo de mamona) para a espécie *Pinus elliottii***. XII EBRAMEM- Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, julho de 2010.

BIANCHE, J. J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2014. Tese de doutorado.

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

BNDES - BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. GALINARI, R.; TEIXEIRA JUNIOR, J. R.; MORGADO, R. R. **A competitividade da indústria de móveis do Brasil: situação atual e perspectivas**. *Bens de Consumo*, BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 37, p. 227-272, 2012.

BORCARD, D; GILLET, F; LEGENDRE, P. **Numerical Ecology with R**. New York, Dordrecht London Heidelberg. 2011.

BUDAKCI M.; GURLEYEN L.; CINAR H.; KORKUT S. **Effect of wood finishing and planning on surface smoothness of finished wood**. *Journal of Applied Sciences*. v. 7, n. 16, p. 2300-2306, 2007.

CARPANEZZI, A. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, DF: EMBRAPA-DDT; Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1986. 89 p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 17).

CARVALHO, M. Z. **Abordagem multivariada do comportamento das propriedades físico-químicas e caracterização de adesivos naturais à base de taninos**. Lavras: UFLA, 2016. 135 p. Tese de doutorado.

CASTELO, P. A. R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COPANT - *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* – Norma 461- **Maderas: método de determinación del peso específico aparente**, 1972 (COPANT 30: 1-004, 1971)

COPANT - *Comisión Panamericana de Normas Técnicas* – Norma 462- **Maderas: método de determinación de la contracción**, 1972 (COPANT 30: 1-004, 1971)

COWN, D. J. **Wood density of radiata pine: its variation and manipulation**. New Zealand Journal of Forestry Science, v.19, n.1, p.84-94, 1974.

CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. **Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano**. Cerne, Lavras, v. 17, n. 4, p. 593-600, out./dez. 2011.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - **Sistema de Produção – cultivo de *Pinus***. 2ª edição, Jun/2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br>. Acesso 06/11/2017.

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

EUROPEAN STANDARD. **EN 205** - Adhesives - Wood adhesives for non-structural applications - Determination of tensile shear strength of lap joints. 2002

FOELKEL, C. E. B.; BARRICHELO, L. E. G.; AMARAL, A. C. B.; VALLE, C. F. **Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal**. IPEF, n. 10, p. 81-87, 1975.

FOELKEL, C. **Edge Glued Panel** (Painel de Madeira Colado Lateralmente). *Pinus Letter*, n. 8, 2008. Disponível em: [http://www.celso-foelkel.com.br/Pinus\\_8.html](http://www.celso-foelkel.com.br/Pinus_8.html) Acesso em: 02/09/2017.

FOGAÇA, A. P. **Determinação da qualidade de colagem e desempenho mecânico de painéis EGP comerciais**. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus de Itapeva, 2014.

FOLLRICH, J.; VAY, O.; VEIGEL, S.; MÜLLER, U. Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread. *J Wood Sci.* n. 56, p.429–434, 2010.

FONTE, A. P. N. **Utilização da madeira de *cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2016.

GARCIA, A.; RECH, M. **Adesivos para a madeira e móveis.** *Revista da madeira.* Ed 128. 2011. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=)

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

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação.** Brasília: Iphan/Monumenta. 2006. 246p.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira.** 1973. 161 p. Universidade de São Paul, São Carlos, 1973.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de *Pinus*, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 96 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

HIZIROGLU, S.; ZHONG, Z. W.; TAN, H. L. **Measurement of bonding strength of pine, kapur and meranti wood species as function of their surface quality.** *Measurement*, v. 46, p. 3198- 3201, 2013.

IAWA COMMITTEE. **List of microscopic features for hardwood identification.** *IAWA Bulletin*, v. 10, p. 220-332, 1989.

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Indicadores de desempenho de árvores plantadas** – ano base 2016. 80 p. – Brasília, DF, 2016

IWAKIRI, S.; BILA, F. N.; TRINOSKI, R.; PRATA, G. J. **Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia.** *FLORESTA*, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 455-464, jan. 2017. ISSN 1982-4688. Disponível em:



<<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/36311>>. Acesso em: 19 mar. 2018.  
doi:<http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v46i4.36311>.

IWAKIRI, S.; KEINERT JR., S.; ALBUQUERQUE, C. E. C. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF – UFPR, 2005.

JOKERST, R. W. **Finger-jointed wood products**. Washington: USDA, Forest Products Laboratory, 1981, 24 p.

JONES, P. D.; SCHIMLECK, L. R.; PETER, G. F.; DANIELS, R. F.; CLARK III, A. **Nondestructive estimation of wood chemical composition of sections of radial woodstrips by diffuse reflectance near infrared spectroscopy**. Wood Science Technology, Springer-Verlag, n.40, p.709-720, 2006.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. DE; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**, 3<sup>o</sup> ed., Curitiba, 2005.

KLOCK, U.; **Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Shiede e *Pinus caribaea* Morelet var. hondurensis Barr e Golf**. 1989. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

KLOCK, U.; **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 291f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KOCH, P. **Utilization of the Southern pines**. Madison: USDA, Forest Service Agricultural Handbook, 1972, 420 p.

KOLLMANN, F. F. P. **Tecnología de la Madera y sus aplicaciones**. Madrid. Instituto Florestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 1959. 647 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Seropédica, RJ, Ed. Universidade Rural, 1997, 198 p. il.

KUMAR, V. S. K.; UPRETI, N. K.; KHANDURI, A. K. **Effect of *Fingertip* area on the compression strength of *Finger* jointed sections**. J Indian Acad. Wood Sci., v. 7 (1–2), p. 25–29, Jun-Dec 2010.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. O. **Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 36, n.77, p. 73-77, 2008.

LIMA, J. T.; BARAÚNA, E. E. P.; ALTOÉ, T. F.; MONTEIRO, T. C. Avaliação dos Defeitos Causados pela Secagem por Desumidificação na Madeira de *Eucalyptus grandis*, In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, julho, 2008.

LOPES, M. C.; MUNIZ, G. I. B.; MATOS, J. L. M.; TANOBE, V. O. A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. **Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos**. CERNE [online]. 2013, vol.19, n.4, pp.613-619. ISSN 0104-7760. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000400011>.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. Curitiba, 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da Usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústria de móveis**. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia de produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria, Editora UFSM, 161p. 2005.

MARRA, F. S. **Technology of wood bonding – principles in practice**. Van Nostrand Reinhold, New York. 453p. 1992.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para produção de painéis colados lateralmente (PCL)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2011. 114p.

MAYER, F. H. **Avaliação das propriedades tecnológicas de painéis EGP (*Edge Glued Panel*) da empresa Phanda artefatos de madeira**. Relatório de estágio supervisionado (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade do Contestado, Canoinhas, SC, 2007. 96 p.

MELLADO, E. C. E. R. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill Ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado.** Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993. 133f.

MELO JR.; J. C. F. **Anatomia de madeiras históricas: um olhar biológico sobre o patrimônio cultural.** Joinville: Editora UNIVILLE, 2012a.

MIRANDA, M. J. A. C. **Estudo da influência do espaçamento de plantio de *Eucalyptus saligna Smith* no rendimento em madeira serrada, nas condições verde e seca.** Piracicaba, 1998. 188p. Dissertação (M.S.) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

MOLINA, B. S. D.; DE LIMA, L. R.; GOMES, L. C.; DE LIMA, L. S.; ALCADE, C. R. **Nutritive value of diets with inactive dry yeast for saanen goats in the peripartum period.** *Rev. Caatinga*, 29 (1): 200-205, 2016.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*) evaluation of the shear strength of bonded joints of teak wood (*Tectona grandis*).** *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 615-621, 2014.

MUNIZ, G. I. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 1993. 236f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

MURARA JR, M. I; PERES, R. R. **Avaliação de linhas de colagem de painéis e.g.p. utilizando madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*.** Engenharia Florestal da Fundação Universidade do Contestado – FUnC – Campus Canoinhas - SC. 2010.

NASCIMENTO, A. M; GARCIA, R. A; DELLA LUCIA, R. M. **Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira.** *CERNE* [online]. 2013, vol.19, n.4, p. 593-601. ISSN 0104-7760.

NIGOSKI, S. **Espectroscopia no infravermelho próximo no estudo de características da madeira e papel de *Pinus taeda* L.** Curitiba. 2005. 160 p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná.

NOBEL, A. **EPI system 1975 / 1993.** High Point, USA, 2011. Version: 06 (2011-06-23) Boletim Técnico, Akzo Nobel Industrial Coatings. Wood Finishes and Adhesives

NOCK, H. P., RICHTER, H. G. **Adesão e Adesivos – Adesivos e sua aplicação na indústria madeireira.** Tópicos de Tecnologia da Madeira. Universidade Federal do Paraná, 94 p. , Curitiba, 1978.

OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J.A.A; SANTANA, M. A. E.; MARQUES, M. H. B.; MARTINS, V. A.; SOUZA, M. E.; TEIXEIRA, D. E. **Descrição dos caracteres tecnológicos da madeira de *Cupressus glauca* Lam.** *Scientia Florestalis*, n. 72, p. 39-48, dez. 2006

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino.** 2003. 122 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; SIMÕES, J. W.; TOMAZELLO FILHO, M. **Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1-avaliações dendrométricas das árvores.** *Scientia Forestalis*, n. 56, p. 113-124, dez. 1999.

ÖZÇİFÇİ, A.; YAPICI, F. **Effects of machining method and grain orientation on the bonding strength of some wood species.** *Journal of Materials Processing Technology*, 2007.

OZKAYA, K. **The effects of different edge joining on the resistance of edge glued wooden panels.** *Technology*. v.14(2), p-53-58. 2011.

PAIVA, J. G. A.; CARVALHO, F.; Margaret, S.; MAGALHAES, M. P.; DALVA, G. R. **Verniz vitral incolor 500: uma alternativa de meio de montagem economicamente viável.** *Acta Botanica Brasílica*, v. 20, n. 2, p. 257-264, 2006.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEW, C. **Textbook of wood technology: II.** New York, MC Graw Hill, 4 ed., 722 p. 1980

PINHEIRO, C. **Efeitos do teor de umidade da madeira no fresamento de *Pinus elliottii***. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* Tropicais para produção de painéis colados lateralmente (edge glued panels – EGP)**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, 2010.

PRATT, G. H. **Timber drying manual**. London: Building Research Establishment, 1974, 152p.fl

RAKNES, E. **The Influence of Production Conditions on the Strength of *Finger-Joints*, Production, marketing and use of *Finger-jointed* sawnwood**. *Forestry Sciences* – p.282., Hague, Holanda. 1982.

REIS, M. S.; CARNEIRO, C. M. R.; GALVÃO, A. P. M.; SOBRAL Filho, M.; PAIXÃO, J. C.; LISBOA, C. D. J.; SIQUEIRA, J. D. P. **Adesão e Adesivos para Madeira – Teorias de Adesão e a Natureza das Colagens com Madeira. Série Técnica**. Ministério da Agricultura, Laboratório de Produtos Florestais, 22p. Brasília, DF. 1982.

SANTIAGO, L. F. F. **Caracterização da Influência da Velocidade de Corte, Pressão e Granulometria de Lixa no Lixamento do *Pinus elliottii***. 2011. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SANTOS, R. C. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*) para produção de chapas de partículas**. 2008. 159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2008

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – **Fatos e números do Brasil florestal**. nov. 2006. Disponível em: < <http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Acesso em: 01/02/2018.

SERRANO, L. J. P. **Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas**

**dentadas**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SIAU, J. F. **Flow in wood**. Syracuse, Syracuse University Press, 1971.131p.

STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; SUSIN, F.; MELO, R. R.; GATTO, D. A.; HASELEIN, C. R. **Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada**. Ciência Florestal. Santa Maria, v.19, n.4, p.461-472, 2009.

ST-PIERRE, B.; BEAUREGARD, R.; MOHAMMAD, M.; BUSTOS, C. **Effect of moisture content and temperature on tension strength of *Finger* jointed black spruce lumber**. For Prod J 55(2):9–16, 2005.

TAPPI – Technical Association Of The Pulp And Paper Industry. **TAPPI 252. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard**. Atlanta. 2012.

TAN, P.L.; SHARIF, S.; SUDIN, I. **Roughness models for sanded wood surfaces**. Wood Sci- Technol. 46(1):129-142, 2012.

TIENNE, D. L. C. **Qualidade da adesão de juntas coladas expostas a condições de serviços externo e interno**. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 553 p. Tese. (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VARASQUIM, F. M. F. A.; ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F.; SOUZA, A. J. D. **Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* Wood**. Cerne, Lavras, v. 18, n. 2, p. 231-237, 2012.

VICK, C. B. **Adhesive Bonding of Wood Materials**. U.S. PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook —Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL—GTR—113. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Chapter 9. 463 p. Madison: U.S. 1999.

ZEN, L. R. **Métodos combinados para secagem da madeira de eucalyptus: pré- secagem ao ar livre com secagem em estufa convencional.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 2016.

ZHONG, Z. W.; HIZIROGLU, S., CHAN, C. T. M. **Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture.** Measurement, v. 46, p.1482-1487, 2013.

## **ANEXOS**

ANEXO A - Quadro utilizado para a determinação das variáveis que foram estudadas do processo de produção dos painéis *EGP* produzidos na empresa Móveis Rudnick – unidade 2.

ANEXO B - Quadro geral dos resultados obtidos nos experimentos dos ensaios das propriedades físicas, anatômicas da madeira e ensaios mecânicos de cisalhamento e tração das emendas coladas.



## ANEXO A - Quadro utilizado para determinação das variáveis à serem estudadas.

<b>Etapa</b>	<b>Variáveis por processo</b>	<b>Variáveis que podem ser trabalhadas</b>	<b>Variáveis selecionadas</b>
Recebimento e estoque da matéria-prima	Espécie de madeira Tipo de corte da tábua Temperatura e umidade de recebimento Acondicionamento no estoque Lote – idade, posição na estrutura da árvore, condição de desenvolvimento do lote Características anatômicas da madeira das espécies	Espécie de madeira Tipo de corte Umidade * * * *	<i>Pinus taeda e Pinus elliottii</i> Tangencial 8 e 15% * * * *
Molduramento e corte	Defeitos da madeira indesejados no processo Qualidade superficial – rugosidade e acabamento Dimensional das peças - esquadro Tensões da madeira Tipo de corte	* Qualidade superficial – após processos de usinagem Dimensional das peças (largura) e esquadro * *	* Processo de serra, moldureira e lixa Lamelos de 45 e 68 mm * *
Otimizadora	Defeitos da madeira Dimensional das peças Otimização de corte	* Dimensional padrão e para aproveitamento *	* Emenda finger e lateral *
Preparação dos painéis	Dimensional do lote Tipo de corte em relação ao sentido do veio Acondicionamento das peças – estabilização Condição e tipo do painel	* Sentido para preparação do painel Acondicionamento das peças *	* * * *
Aplicação de Cola	Temperatura e umidade (ambiente e madeira) Acondicionamento no processo Catalise e dosagem Tempo em aberto Aplicação Gramatura Impurezas de processo	* Acondicionamento Proporções de mistura Tempo em aberto na preparação Aplicação (tipo de processo) Gramatura (variar quantidade aplicada) Cuidados operacionais de processo	* * * * * * *
Prensagem	Tempo de prensagem Pressão dos pratos (lateral e superior) Temperatura	Tempo de prensagem Pressão dos pratos (lateral e superior) Temperatura	* * *

## ANEXO B – Quadro geral dos resultados

Propriedades	Variável			<i>Pinus elliottii</i>	<i>Pinus Taeda</i>
Física	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )			0,489 ±0,085 <sup>a</sup>	0,410 ±0,052 <sup>a</sup>
Anatômica	Comprimento do traqueídeo (µm)			2596,111 ±429,880 <sup>a</sup>	2786,174 ±130,200 <sup>b</sup>
	Espessura da parede do lenho juvenil (µm)			4,128 ±1,146 <sup>a</sup>	5,030 ±1,469 <sup>b</sup>
	Espessura da parede do lenho tardio (µm)			5,130 ±1,061 <sup>a</sup>	7,246 ±1,792 <sup>a</sup>
	Tamanho do raio – altura (µm)			23,726 ±6,453 <sup>a</sup>	24,914 ±5,009 <sup>b</sup>
	Tamanho das pontoações (µm)			36,297 ±6,623 <sup>a</sup>	36,232 ±7,381 <sup>b</sup>
Mecânica	Deformação na tração de cisalhamento (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	5,920 ±1,039 <sup>a</sup>	6,990 ±0,954 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	7,410 ±1,466 <sup>a</sup>	6,790 ±1,109 <sup>a</sup>
		Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - lixa	6,810 ±1,880 <sup>a</sup>	6,640 ±0,749 <sup>b</sup>
			Processo - moldureira	10,150 ±0,558 <sup>a</sup>	6,210 ±0,703 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	10,220 ±0,479 <sup>a</sup>	9,450 ±1,234 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	5,760 ±1,822 <sup>a</sup>	8,380 ±0,636 <sup>a</sup>
			Processo - serra	5,650 ±0,467 <sup>a</sup>	7,220 ±0,741 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - serra	8,410 ±3,000 <sup>a</sup>	8,120 ±0,944 <sup>b</sup>
	Deformação na tração da emenda <i>finger joint</i> (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	8,800 ±3,306 <sup>a</sup>	14,096 ±4,337 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	8,870 ±3,719 <sup>a</sup>	16,720 ±5,717 <sup>a</sup>
			Processo - serra	8,890 ±3,205 <sup>a</sup>	15,063 ±2,967 <sup>a</sup>
		Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - lixa	8,568 ±1,917 <sup>a</sup>	6,640 ±0,749 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	10,156 ±2,209 <sup>a</sup>	10,509 ±3,325 <sup>b</sup>
			Processo - serra	11,470 ±3,735 <sup>a</sup>	10,488 ±5,205 <sup>b</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	6,320 ±2,296 <sup>a</sup>	6,870 ±1,838 <sup>b</sup>
			Processo - moldureira	9,198 ±6,185 <sup>a</sup>	9,522 ±4,893 <sup>b</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - lixa	7,524 ±2,143 <sup>a</sup>	9,960 ±3,085 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	7,571 ±2,513 <sup>a</sup>	9,213 ±2,437 <sup>a</sup>
			Processo - serra	7,455 ±3,741 <sup>a</sup>	8,310 ±1,470 <sup>b</sup>
				Processo - lixa	0,320 ±0,041 <sup>a</sup>

		Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - moldureira	0,400 ±0,057 <sup>a</sup>	0,500 ±0,020 <sup>a</sup>
			Processo - serra	0,500 ±0,024 <sup>a</sup>	0,462 ±0,040 <sup>a</sup>
	Deformação na tração da linha de cola (mm) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - moldureira	0,280 ±0,038 <sup>a</sup>	0,327 ±0,084 <sup>a</sup>
			Processo - serra	0,190 ±0,076 <sup>a</sup>	0,240 ±0,036 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	0,300 ±0,041 <sup>a</sup>	0,350 ±0,073 <sup>b</sup>
			Processo - moldureira	0,250 ±0,118 <sup>a</sup>	0,320 ±0,161 <sup>b</sup>
			Processo - serra	0,280 ±0,127 <sup>a</sup>	0,210 ±1,187 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - moldureira	0,199 ±0,059 <sup>a</sup>	0,229 ±0,051 <sup>a</sup>
			Processo - serra	0,190 ±0,041 <sup>a</sup>	0,190 ±0,031 <sup>a</sup>
		Tensão de ruptura na tração da emenda <i>finger joint</i> (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	252,011 ±58,680 <sup>a</sup>
	Processo - moldureira			141,164 ±27,196 <sup>a</sup>	212,020 ±61,382 <sup>a</sup>
	Processo - serra			209,440 ±47,002 <sup>a</sup>	219,457 ±18,883 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%		Processo - lixa	177,924 ±46,051 <sup>a</sup>	102,270 ±14,961 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	155,700 ±40,609 <sup>a</sup>	138,210 ±40,139 <sup>b</sup>
	Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%		Processo - moldureira	141,00 ±34,264 <sup>a</sup>	165,030 ±49,897 <sup>a</sup>
			Processo - serra	269,219 ±44,649 <sup>a</sup>	264,600 ±51,518 <sup>b</sup>
			Processo - moldureira	185,922 ±74,680 <sup>a</sup>	224,466 ±31,728 <sup>b</sup>
	Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%		Processo - serra	170,464 ±71,052 <sup>a</sup>	262,640 ±76,065 <sup>b</sup>
			Processo - lixa	19,338 ±3,633 <sup>a</sup>	28,440 ±3,919 <sup>a</sup>
	Tensão de ruptura na tração da linha de cola (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial		Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - moldureira	18,109 ±4,808 <sup>a</sup>
Processo - moldureira				25,140 ±4,721 <sup>a</sup>	33,920 ±8,928 <sup>a</sup>
Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%		Processo - moldureira	20,860 ±5,276 <sup>a</sup>	28,220 ±10,276 <sup>a</sup>	
		Processo - serra	18,821 ±3,736 <sup>a</sup>	21,682 ±4,424 <sup>a</sup>	
Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%		Processo - moldureira	22,960 ±7,220 <sup>a</sup>	24,806 ±4,246 <sup>b</sup>	
		Processo - moldureira	19,170 ±6,059 <sup>a</sup>	19,749 ±5,771 <sup>b</sup>	
		Processo - serra	22,977 ±3,597 <sup>a</sup>	20,860 ±3,607 <sup>a</sup>	
Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%		Processo - lixa	127,350 ±15,091 <sup>a</sup>	94,570 ±25,959 <sup>a</sup>	
		Processo - lixa			

	Tensão de ruptura no cisalhamento da linha de cola (kgf/cm <sup>2</sup> ) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - serra	96,500 ±9,576 <sup>a</sup>	87,221 ±14,195 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - lixa	137,030 ±17,675 <sup>a</sup>	149,360 ±20,666 <sup>a</sup>
	Força máxima na tração da emenda <i>finger joint</i> (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - moldureira	87,900 ±12,846 <sup>a</sup>	144,770 ±15,186 <sup>a</sup>
			Processo - lixa	3019,675 ±708,464 <sup>a</sup>	2373,221 ±621,523 <sup>a</sup>
		Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - serra	2607,930 ±563,357 <sup>a</sup>	2841,281 ±318,590 <sup>b</sup>
			Processo - lixa	2239,537 ±1208,824 <sup>a</sup>	883,650 ±129,261 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	1682,900 ±390,828 <sup>a</sup>	170,760 ±49,132 <sup>a</sup>
			Processo - serra	3170,430 ±458,587 <sup>a</sup>	3211,340 ±667,270 <sup>b</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - moldureira	2148,838 ±799,183 <sup>a</sup>	3180,650 ±1020,938 <sup>b</sup>
			Processo - serra	2280,660 ±887,994 <sup>a</sup>	2785,894 ±344,118 <sup>a</sup>
	Força máxima na tração da linha de cola (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	98,984 ±18,591 <sup>a</sup>	144,960 ±19,502 <sup>a</sup>
			Processo - moldureira	92,820 ±24,155 <sup>a</sup>	131,400 ±33,059 <sup>a</sup>
		Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%	Processo - moldureira	104,430 ±19,728 <sup>a</sup>	171,035 ±45,351 <sup>a</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 8%	Processo - moldureira	107,420 ±27,151 <sup>a</sup>	110,380 ±44,351 <sup>b</sup>
		Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%	Processo - lixa	117,850 ±38,737 <sup>a</sup>	129,325 ±21,273 <sup>b</sup>
			Processo - moldureira	105,330 ±25,952 <sup>a</sup>	104,436 ±30,369 <sup>b</sup>
		Processo - serra	122,363 ±18,398 <sup>a</sup>	108,460 ±18,151 <sup>a</sup>	
	Força máxima no cisalhamento da linha de cola (N) – corte tangencial	Ripa 45 mm e teor de umidade de 8%	Processo - lixa	1100,320 ±130,391 <sup>a</sup>	817,120 ±224,294 <sup>a</sup>
Ripa 45 mm e teor de umidade de 15%		Processo - serra	833,750 ±82,736 <sup>a</sup>	753,519 ±122,648 <sup>a</sup>	
		Processo - lixa	1183,920 ±152,720 <sup>a</sup>	1290,500 ±178,554 <sup>b</sup>	
Ripa 60 mm e teor de umidade de 15%		Processo - moldureira	759,440 ±110,988 <sup>a</sup>	1250,800 ±131,205 <sup>a</sup>	

# AUTORIZAÇÃO

Nome do autor: Adriano Bolgenhagen

RG: 4.316.005

Título da Dissertação: AVALIAÇÃO COMPARADA DOS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM NA COLAGEM LATERAL DE PAINÉIS DE MADEIRA DE *PINUS ELLIOTTII* E *PINUS TAEDA*

**Autorizo a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, através da Biblioteca Universitária, disponibilizar cópias da dissertação de minha autoria.**

Joinville, 28 de setembro de 2018.



---

Assinatura do aluno