

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE

PÂMELA CAROLINE LAU SOZIM

**A MADEIRA DE *Populus deltoides* OBTIDA DE ÁRVORES DE DIFERENTES  
IDADES E SEUS MULTIPRODUTOS**

IRATI

2020

PÂMELA CAROLINE LAU SOZIM

**A MADEIRA DE *Populus deltoides* OBTIDA DE ÁRVORES DE DIFERENTES  
IDADES E SEUS MULTIPRODUTOS**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Éverton Hillig  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Fabiane Salles Ferro  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>.Dr<sup>ª</sup>. Raquel Marchesan

IRATI

2020

Catálogo na Publicação  
Rede de Bibliotecas da Unicentro

S731m Sozim, Pâmela Caroline Lau  
A madeira de *Populus deltoides* obtida de árvores de diferentes idades e seus multiprodutos / Pâmela Caroline Lau Sozim. – – Irati, 2020.  
xiii, 95 f. : il. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, 2020.

Orientador: Éverton Hillig  
Coorientadora: Fabiane Salles Ferro  
Coorientadora: Raquel Marchesan

Banca examinadora: Francisco Antonio Rocco Lahr (Primeiro Examinador), Vanessa Coelho Almeida (Segundo Examinador), Luciano Farinha Watzlawick (Terceiro examinador), Raquel Marchesan (Quarto examinador), Éverton Hillig (Orientador e Presidente da Banca Examinadora)

Bibliografia

1. Álamo. 2. Idade. 3. Propriedades da madeira. 4. Produtos de madeira.  
I. Título. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

CDD 634.9

## TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 26

**Pâmela Caroline Lau Sozim**

**“A MADEIRA DE *Populus deltoides* OBTIDA DE ÁRVORES DE DIFERENTES IDADES E SEUS MULTIPRODUTOS”**

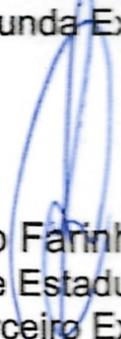
Tese aprovada em 16/09/2020, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



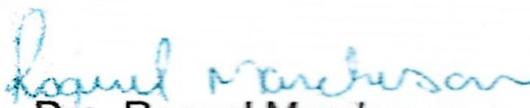
Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr  
Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos  
Primeiro Examinador



Dra. Vanessa Coelho Almeida  
Universidade Federal do Tocantins  
Segunda Examinadora



Luciano Farinha Watzlawick  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Terceiro Examinador



Dra. Raquel Marchesan  
Universidade Federal do Tocantins  
Quarta Examinadora



Dr. Éverton Hillig  
Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati – PR  
2020

Dedico esta tese à minha mãe Silvana, com todo meu amor e gratidão, por tudo que fez por mim ao longo de minha vida.

Ao meu marido Rafael, que me apoiou incondicionalmente durante todo o tempo em que estive desenvolvendo este trabalho.

E ao meu filho Bernardo, que me fez companhia ao longo da escrita desta tese, me trazendo alegria e amor.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida, benção e proteção.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela oportunidade de alcançar este nível de formação.

À CAPES e a Fundação Araucária, pela concessão de bolsa durante o período de realização do Doutorado.

À empresa Swedish Match, pela doação da madeira de *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Éverton Hillig, pela amizade, orientação, apoio e ensinamentos.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiane Salles Ferro pela amizade, incentivação, troca de conhecimentos e experiências, e pela coorientação.

A Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Raquel Marchesan por ter aceitado meu convite para me coorientar a distância, e por toda a contribuição feita para a melhoria deste trabalho.

As três mulheres da minha vida, Silvana (mãe), Rosangela (avó) e Isabel (tia), pelo carinho, amor e troca de experiência ao longo da vida, e por serem meu alicerce.

Ao meu marido Rafael, pelo amor e carinho recebido, pela paciência e por sempre estar ao meu lado, além de ser um pai exemplar para nosso filho.

Ao meu filho Bernardo que me acompanhou no desenvolvimento desta tese desde da barriga, e com seu nascimento me fez redescobrir as “belezas da vida”.

Ao meu pai Laertes (*in memoriam*) que juntamente a minha mãe me concedeu o dom da vida.

Ao meu amigo Érick Chagas Mustefaga, pela amizade e por toda ajuda prestada para a execução desta tese.

De modo geral agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

*“O conhecimento torna a alma jovem e diminui  
a amargura da velhice. Tome, pois, a sabedoria.  
Armazena suavidade para o amanhã”.*

*Leonardo da Vinci.*

## RESUMO

O gênero *Populus* apresenta cultivo generalizado no Hemisfério Norte, devido suas características de rápido crescimento, potencial de hibridação, adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, entre outros. Dentre as espécies que compõem este gênero, cultiva-se principalmente o *Populus nigra* e o *Populus deltoides*. No Brasil, o *Populus deltoides* é plantado na região sul, porém, com o fim específico de uso da sua madeira para produção de palitos. Assim, pouco conhecimento se têm das características da sua madeira e de sua empregabilidade. Diante disso, esta tese foi conduzida visando determinar as propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas da madeira obtida de árvores jovens de *Populus deltoides* e avaliar a possibilidade da confecção de multiprodutos como base para a definição de planos de manejo florestal. De um povoamento comercial, foram colhidas árvores nas idades de 8, 10 e 12 anos, das quais foram retiradas as madeiras utilizadas neste estudo. Foram retirados discos na base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, utilizados para a determinação das propriedades anatômicas, químicas e físicas, além de toras destinadas a determinação das propriedades mecânicas e para uso experimental da madeira na produção de partículas e lâminas e de painéis MDP, HDP e compensado. Para a caracterização anatômica das madeiras de *Populus deltoides*, destaca-se as características de grã reta, presença de tilo nos vasos, raios homogêneos unisseriados, parênquima axial ausente ou extremamente raro e aumento das dimensões dos elementos de vaso, raios e fibras com o avanço da idade. Para a composição química, os teores de extrativos, lignina insolúvel, pH, cinzas e materiais voláteis apresentaram tendência de crescimento em função do aumento da idade, enquanto que para o teor de carbono fixo ocorreu o inverso. Com base nas características anatômicas e na composição química obtida para a espécie em estudo, indica-se o seu uso como matéria-prima para a produção de papel e celulose, produtos sólidos de madeira e de painéis, não sendo viável economicamente e em termos de rendimento energético seu uso para a produção de carvão vegetal. As madeiras de *Populus deltoides* se classificam como madeira de baixa densidade e muito instáveis, pertencente a classe de resistência C20 de acordo com a norma NBR 7190, sendo indicada para fins estruturais e não estruturais. A utilização da madeira de *Populus deltoides* pura ou em mistura com *Pinus taeda*, nas idades de 8 e 12 anos, para a confecção de painéis MDP e HDP, propiciou a obtenção de painéis com melhor estabilidade dimensional, além de propriedades mecânicas que atendem aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas NBR 14810-2 e ANSI A208.1. Para o processo de laminação, melhor rendimento e classificação de lâminas foram obtidos para a madeira de *Populus deltoides* na idade de 12 anos. A utilização de lâminas de *Populus deltoides* pura e em combinação com *Pinus taeda* e, coladas com uréia-formaldeído ou fenol-formaldeído, propiciou elevada qualidade de colagem dos painéis compensados. A caracterização anatômica e química, bem como a determinação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos, juntamente as suas características de rápido crescimento e resistência ao frio, demonstrou que esta espécie pode ser uma alternativa para a obtenção de multiprodutos na região sul do país, além do seu uso em conjunto com espécies tradicionais, principalmente para a produção de painéis compensados e painéis MDP e HDP.

Palavras-chave: álamo; idade; propriedades da madeira; produtos de madeira.

## ABSTRACT

The *Populus* genus is widely cultivated in the Northern Hemisphere, due to its characteristics of rapid growth, hybridization potential, and adaptation to different edaphoclimatic conditions, among others. Among the species that make up this genus, *Populus nigra* and *Populus deltoides* are mainly cultivated. In Brazil, *Populus deltoides* is planted in the southern region, however, with the specific purpose of using its wood for the production of matchsticks. Thus, they have little knowledge of the characteristics of their wood and its employability. Therefore, this thesis was conducted aiming to determine the physical, chemical, anatomical and mechanical properties of the wood obtained from young trees of *Populus deltoides* and to evaluate the possibility of making multiproducts as a basis for the definition of forest management plans. From a commercial stand, trees were harvested at the ages of 8, 10 and 12 years, from which the wood used in this study was removed. Discs were removed at the base, 25, 50, 75 and 100% of commercial height, used to determine anatomical, chemical and physical properties, in addition to logs for determining mechanical properties and for experimental use of wood in the production of particles and veneers and MDP, HDP and plywood panels. For the anatomical characterization of *Populus deltoides* woods, the characteristics of straight grain, presence of tylos in the vessels, uniseriate homogeneous rays, absent or extremely rare axial parenchyma and increase in the dimensions of the vessel elements, rays and fibers with advancing age. For the chemical composition, the levels of extractives, insoluble lignin, pH, ash and volatile materials showed a growth trend due to the increase in age, while for the fixed carbon content the opposite occurred. Based on the anatomical characteristics and the chemical composition obtained for the species under study, its use as raw material for the production of paper and cellulose, solid wood and panel products is indicated, not being economically viable and in terms of energy efficiency its use for the production of charcoal. *Populus deltoides* woods are classified as low density and very unstable wood, belonging to the C20 resistance class according to the NBR 7190 standard, being indicated for structural and non-structural purposes. The use of *Populus deltoides* wood, pure or mixed with *Pinus taeda*, at the ages of 8 and 12 years, for the manufacture of MDP and HDP panels, enabled the obtaining of panels with better dimensional stability, in addition to mechanical properties that meet the minimum requirements standards established by NBR 14810-2 and ANSI A208.1. For the lamination process, better yield and classification of veneers were obtained for the wood of *Populus deltoides* at the age of 12 years. The use of veneers of *Populus deltoides* pure and in combination with *Pinus taeda* and, glued with urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde, provided high bonding quality of the plywood panels. The anatomical and chemical characterization, as well as the determination of the physical and mechanical properties of the wood of *Populus deltoides* at the ages of 8, 10 and 12 years, together with its characteristics of rapid growth and resistance to cold, demonstrated that this species can be an alternative for obtaining multiproducts in the southern region of the country, in addition to their use in conjunction with traditional species, mainly for the production of plywood panels and MDP and HDP panels.

Keywords: poplar; age; wood properties; wood products.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – MUNICÍPIOS DE PORTO UNIÃO E IRINEÓPOLIS. ....	5
FIGURA 2 – LAYOUT PARA AMOSTRAGEM DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> . ....	6
FIGURA 3 – COLETA DE MATERIAL EM CAMPO. ....	7
FIGURA 4 – IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS. ....	15
FIGURA 5 – PREPARAÇÃO DO MATERIAL E ANÁLISES QUÍMICAS. ....	17
FIGURA 6 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> NA IDADE DE 8 ANOS. ....	18
FIGURA 7 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> NA IDADE DE 10 ANOS. ....	18
FIGURA 8 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> NA IDADE DE 12 ANOS. ....	19
FIGURA 9 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 8 ANOS DE IDADE. ....	20
FIGURA 10 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 8 ANOS DE IDADE. ....	20
FIGURA 11 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 8 ANOS DE IDADE. ....	21
FIGURA 12 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 8 ANOS DE IDADE. ....	21
FIGURA 13 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 10 ANOS DE IDADE. ....	22
FIGURA 14 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 10 ANOS DE IDADE. ....	22
FIGURA 15 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 10 ANOS DE IDADE. ....	23
FIGURA 16 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 10 ANOS DE IDADE. ....	23
FIGURA 17 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 12 ANOS DE IDADE. ....	24
FIGURA 18 – IMAGENS MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 12 ANOS DE IDADE. ....	24

FIGURA 19 – IMAGENS MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 12 ANOS DE IDADE.....	25
FIGURA 20 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> COM 12 ANOS DE IDADE. ....	25
FIGURA 21 – DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS.....	42
FIGURA 22 – DESDOBRO DAS TORAS E SECAGEM DOS PRANCHÕES. ....	43
FIGURA 23 – ENSAIOS MECÂNICOS.....	44
FIGURA 24 – PRODUÇÃO DOS PAINÉIS MDP E HDP.....	59
FIGURA 25 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS MDP E HDP.....	60
FIGURA 26 – LAMINAÇÃO DAS TORAS E SECAGEM DAS LÂMINAS.....	76
FIGURA 27 – PRODUÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS. ....	78
FIGURA 28 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS COMPENSADOS. ....	78
FIGURA 29 – CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS DE <i>Populus deltoides</i> .....	82
FIGURA 30 – CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS DE <i>Populus deltoides</i> POR IDADE ESTUDADA.....	83
FIGURA 31 – LÂMINA COM RESQUÍCIO DO ATAQUE DE <i>Platypus</i> sp.....	83

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES DE <i>Populus deltoides</i> .....	5
TABELA 2 - BIOMETRIA DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> NAS TRÊS IDADES EM ESTUDO. ....	26
TABELA 3 - ÍNDICES INDICATIVOS DA QUALIDADE DAS FIBRAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> AOS 8, 10 E 12 ANOS DE IDADE PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL. ....	28
TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E DOS ÍNDICES INDICATIVOS DA QUALIDADE DAS FIBRAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS. ....	29
TABELA 5 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> AOS 8, 10 E 12 ANOS DE IDADE. ....	31
TABELA 6 - PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> PARA OS FATORES IDADE E ALTURA. ....	45
TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS PARA A MADEIRA DE <i>Populus</i> .....	47
TABELA 8 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A DENSIDADE APARENTE À 12% DE TEOR DE UMIDADE E AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> EM DIFERENTES IDADES. ....	49
TABELA 9 – VALORES CARACTERÍSTICOS PARA A MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> . ....	50
TABELA 10 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS. ....	50
TABELA 11 – COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS MDP E HDP. ....	59
TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Populus deltoides</i> . ....	62
TABELA 13 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE MDP. ....	65
TABELA 14 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE HDP. ....	66
TABELA 15 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS MDP. ....	67
TABELA 16 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS HDP. ....	68
TABELA 17 - COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS. ....	77

TABELA 18 – RENDIMENTO EFETIVO E PERDAS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> .....	80
TABELA 19 – PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO.....	84
TABELA 20 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO.....	85
TABELA 21 – PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM FENOL-FORMALDEÍDO.....	86
TABELA 22 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM FENOL-FORMALDEÍDO.....	88

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3 MATERIAL .....</b>	<b>4</b>
<b>4 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
3.1 PROPRIEDADES ANATÔMICAS.....	17
3.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS .....	30
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>33</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> .....</b>	<b>40</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>45</b>
<b>4 CONCLUSÕES .....</b>	<b>50</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> NA PRODUÇÃO DE MDP E HDP .....</b>	<b>56</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>57</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>58</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
3.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA .....	61
3.2 GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS .....	61
3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS MDP E HDP .....	62
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>68</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
<b>CAPÍTULO 4 – LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS COM MADEIRA DE <i>Populus deltoides</i> .....</b>	<b>73</b>

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>74</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>75</b>
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>79</b>
3.1 DENSIDADE BÁSICA, PERDAS E RENDIMENTO EFETIVO DA LAMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS.....	79
3.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM RESINA URÉIA-FORMALDEIDO.....	84
3.3 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM RESINA FENOL-FORMALDEIDO .....	86
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>89</b>
<b>5 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>89</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Devido a crescente necessidade de otimizar o uso dos recursos madeireiros disponíveis, povoamentos florestais estão sendo manejados com o intuito de se obter multiprodutos. A conversão de árvores em multiprodutos visa agregar maior valor a madeira, visto que cada produto tem preço diferenciado, além de reduzir o desperdício de biomassa e o impacto das oscilações financeiras na renda do pequeno produtor ou empresa, tornando-se uma alternativa viável e mais rentável do que a destinação de toda a madeira para um único uso (ASSIS et al., 2002; SOARES et al., 2003; ANDRADE, 2014; CAMPOS et al., 2014; LUSTOSA JUNIOR et al., 2017).

O regime de manejo multiproduto geralmente é adotado por indústrias de madeira sólida que utilizam toras de maior diâmetro, além de produtores florestais independentes e *Timber Investment Management Organizations* (TIMOs). Para o gênero *Pinus*, por exemplo, quando conduzidos neste tipo de regime, a densidade inicial é de cerca de 1600 árvores/hectare, com ou sem podas, realizando-se dois ou mais desbastes comerciais e o corte raso entre 16 e 18 anos de idade (AGEFLOR, 2016).

O seccionamento do tronco das árvores após sua derrubada depende das exigências do mercado florestal quanto às dimensões e/ou qualidade requeridas para tora de acordo com o uso final. Toras de maiores diâmetros são destinadas para serraria e laminação, já as toras de menores diâmetros e de menor qualidade, são destinadas à fabricação de celulose, carvão vegetal e painéis (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000; MENDONÇA et al., 2007; LUSTOSA JUNIOR et al., 2017).

No Brasil, as indústrias que operam com matéria-prima de plantios florestais dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, utilizam o seguinte sortimento com base no diâmetro da ponta fina e comprimento da tora: laminação – 35 cm e 3,1 m; serraria 2 – 23 cm e 3,1 m; serraria 1 – 16 cm e 3,1 m; celulose – 8 cm e 2,4 m; e resíduos (energia) – 5 cm e 2,4 m (FIGUEIREDO FILHO et al., 2015).

De acordo com pesquisas já realizadas com os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (CAMPOS et al., 2014; KOHLER et al., 2015; LUSTOSA JUNIOR et al., 2017), a decisão de se destinar a madeira para conversão em multiproduto é mais rentável do que para apenas um único uso, no entanto, este rendimento econômico quando projetado para plantios em larga escala dependerá do modelo de afilamento adotado para tal projeção, podendo-se obter madeira destinada a mais de uma classe de sortimento desde o primeiro desbaste.

O suprimento da matéria-prima requerida pela indústria de base florestal do Brasil para a produção de seus diversificados produtos vem sendo feita principalmente pelos gêneros *Pinus* com 1,64 milhões de hectares e *Eucalyptus* com 6,97 milhões de hectares plantados. Além desses principais gêneros, outras espécies são plantadas comercialmente em menor escala para fins industriais (0,39 milhões de hectares), como acácia (*Acacia* sp.), seringueira (*Hevea* spp.), teca (*Tectona grandis*), paricá (*Schizolobium parahyba*), araucária (*Araucaria angustifolia*) e álamo (*Populus* sp.) (APRE, 2018; IBÁ, 2019; 2020).

O gênero *Populus* apresenta grande variedade de espécies, as quais se destacam pelo rápido crescimento, composição química (ausência de resinas), coloração esbranquiçada, fibra reta, potencial de hibridação, facilidade de rebrota e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas (MEDEIROS; HOPE, 2002; ARCE, 2004; KUZOVKINA; VIETTO, 2014; LEONARD, 2016). Tais características o levaram ao cultivo generalizado no Hemisfério Norte, plantando-se principalmente as espécies *Populus nigra* L. e *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall e seus híbridos (*P. nigra* x *P. deltoides*) (BORODOWSKI, 2006).

Devido à importância econômica do gênero *Populus* em vários países, pesquisas referentes ao seu cultivo e conservação de germoplasma, além de programas de melhoramento genético foram desenvolvidos na Itália, Bélgica, Alemanha, Argentina e Rússia (KUZOVKINA; VIETTO, 2014).

A *Food and Agriculture Organization* (FAO) detém desde 1947 o órgão denominado *The International Commission on Poplars and Other Fast-Growing Trees Sustaining People and the Environment* (IPC) constituído por 38 países visando apoiar atividades e pesquisas com objetivo de facilitar trocas de experiências técnicas, estabelecimento de padrões, conservação e uso sustentável de florestas e árvores de rápido crescimento (FAO, 2020).

No Brasil, as primeiras mudas de *Populus* spp. vieram dos Estados Unidos e foram plantadas nos municípios de Curitiba – PR e Caieiras – SP, entre os anos de 1905 e 1910. Em 1959, chegaram ao país os primeiros clones provindos da Argentina e da Itália e, até 1960, atingiu-se uma área de plantio de 300 ha. A cultura, no entanto, teve problemas de adaptação na região sul, devido às exigências climáticas e, só a partir de 1980, quando surgiram novas técnicas e clones mais adaptados à região, empresas fabricantes de palito de fósforo interessaram-se no cultivo da espécie *Populus deltoides*. A partir de 1991 foram implantados os primeiros viveiros que deram origem aos plantios definitivos com finalidade comercial (MIO; AMORIM, 2000).

*Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall conhecido popularmente como álamo, álamo – americano, álamo – do – canadá e choupo, ocorre naturalmente nos Estados Unidos e no Canadá, e pode atingir cerca de 30 m de altura, 120 cm de diâmetro e crescimento de 20 a

25 m<sup>3</sup>/ha.ano<sup>-1</sup> (HARLOW et al., 1991; LORENZI et al., 2003; BORODOWSKI, 2006; USDA, 2018). Desenvolve-se bem em solos com pH de 5,5 a 8,0, em temperaturas que variam de 46 °C a -45 °C, com mais de 200 dias consecutivos de geada e precipitação média entre 380 e 1500 mm (FAO, 1979; COOPER; HAVERBEKE, 1990; FOWELLS; MEANS, 1990; HARLOW et al., 1991; SINGHDOHA et al., 2018).

Em 2018, o país possuía cerca de 4316 ha plantados de *Populus* spp., concentrados no Paraná e em Santa Catarina, destinado principalmente para produção de palitos de fósforo (MEDEIROS; HOPE, 2002; ABRAF, 2013; IBÁ, 2019). Seu plantio comercial é realizado por meio de estacas com aproximadamente 4,5 m de comprimento e 5 cm de diâmetro a altura do peito (DAP), em um espaçamento de 6 m x 5,2 m, realizando-se adubação, controle de ervas daninhas, controle de doenças e pragas, e poda. O corte final é efetuado aos 13 anos de idade (OTTO; MOTTA; REISSMAN, 2007; JAVARINI, 2011; DEZGENISKI, 2015).

No Brasil, as propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira de *Populus deltoides* foram analisadas em trabalhos realizados por Javarini (2011) e Lau (2017). Na Argentina, estudos relacionados as propriedades químicas, anatômicas, físicas, mecânicas e uso estrutural da madeira *Populus deltoides* foram desenvolvidos por Cobas (2012), Guillaumet et al. (2016), Filippetti et al. (2017), Cortizo, Monteverde e Abbiati (2017) e Medina et al. (2018). No Canadá, Huda et al. (2018) estudaram as correlações fenotípicas e genotípicas entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de clones híbridos de *Populus*, enquanto Yu et al. (2008) determinaram a variação das propriedades mecânicas de clones jovens. Nos Estados Unidos, as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Populus deltoides* desde 1 ano até 26 anos de idade foram analisadas por Bendtsen e Senft (1986), e as propriedades químicas de clones de *Populus* foram analisadas por Jin e Kamdem (2009). Na Hungria, Peszlen (1994) estudou a influência da idade nas propriedades mecânicas de clones de *Populus*. Na Índia, Nautiyal e Gautam (2016), produziram painéis compensados com lâminas de *Melia composita* e *Populus deltoides* e resina fenol-formaldeído. No Irã, Nourbakhsh (2010) e Hafezi et al. (2015) produziram painéis particulados de média densidade com *Populus* sp. e a resina uréia-formaldeído. No México, Martinez (1996) caracterizou anatomicamente a madeira de *Populus deltoides*. Na Sérvia, as propriedades físicas e químicas da madeira de *Populus deltoides* foram determinadas por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003). Na Turquia, painéis compensados de *Populus deltoides* puro ou em mistura com outras madeiras e as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído foram produzidos por Demirkir et al. (2017), Demirkir, Öztürk e Çolakoğlu (2017) e Öncel et al. (2019).

O desenvolvimento deste trabalho se justifica pela necessidade do conhecimento das propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira de *Populus deltoides*, pois além da influência que uma propriedade pode exercer sobre a outra e, as alterações que podem ocorrer com a idade, o conhecimento destas promove a sua correta utilização. Ademais, contribui para a obtenção de produtos de maior valor agregado e/ou ainda possibilita seu uso como alternativa a outras espécies de madeira já comercializadas.

## 2 OBJETIVOS

Neste estudo, o objetivo geral foi avaliar a viabilidade de utilização da madeira obtida de plantios de média rotação de *Populus deltoides* em multiprodutos.

A estrutura da tese foi elaborada de forma a atender os objetivos específicos que foram:

- Determinar as propriedades anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira obtida de árvores jovens e compará-las em diferentes idades.
- Produzir e avaliar as propriedades de partículas, lâminas, painéis compensados, de MDP e de HDP utilizando a madeira de *Populus deltoides*.
- Avaliar a viabilidade de utilização da madeira obtida em diferentes idades e diferentes porções do fuste da árvore na produção de multiprodutos de madeira.

## 3 MATERIAL

Para a realização da pesquisa foram utilizadas madeiras de *Populus deltoides* W. Bartram ex Marshall obtidas de árvores com 8, 10 e 12 anos de idade, em que foram colhidas três árvores de cada idade, provenientes de plantios com espaçamento de 5,2 m x 6 m, localizados nos municípios de Porto União e Irineópolis, no estado de Santa Catarina (TABELA 1). As árvores foram selecionadas aleatoriamente adotando-se como parâmetros visuais tronco reto, cilíndrico e sem bifurcação ou defeitos, evitando-se as árvores localizadas na bordadura do talhão.

TABELA 1 – CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DAS ÁRVORES DE *Populus deltoides*.

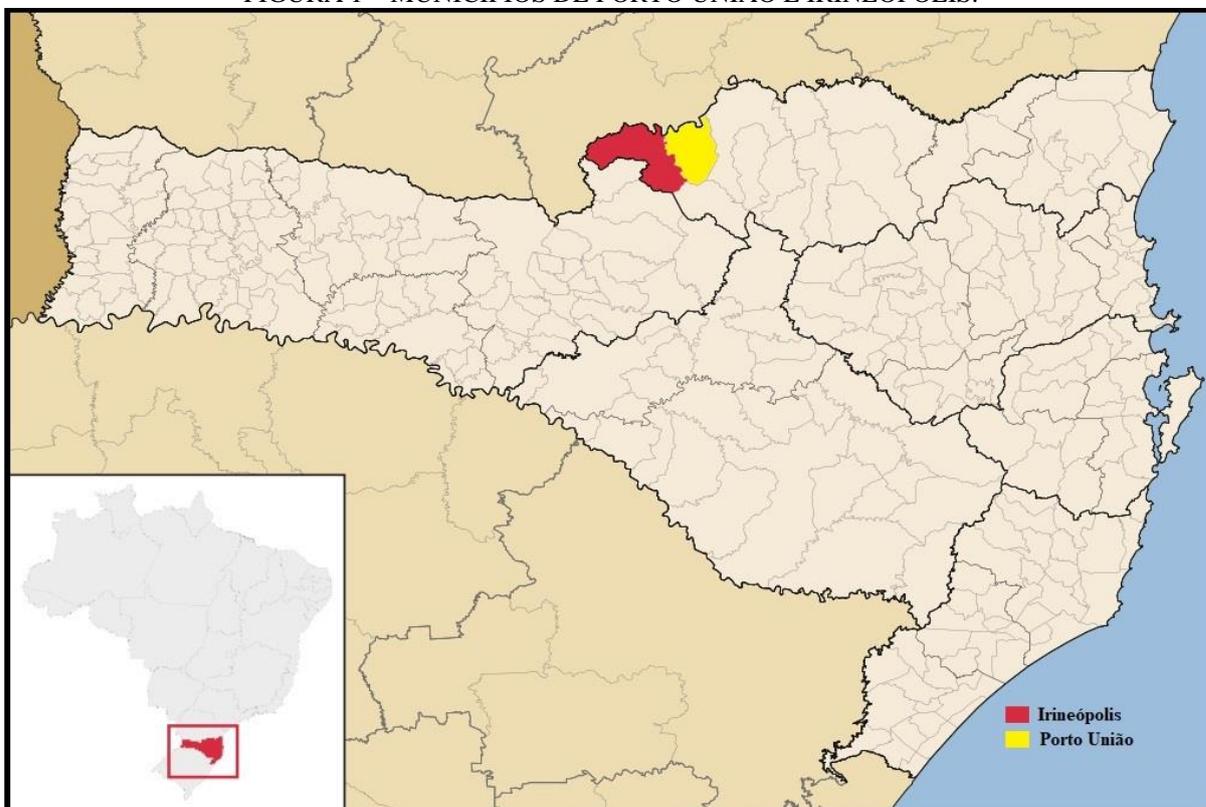
Idade (anos)	Localização	DAP (cm)	H (m)	Hc (m)
8	Irineópolis – SC	19,7	18,5	3,4
8	Irineópolis – SC	21,5	20,1	7,0
8	Irineópolis – SC	19,2	18,0	4,7
10	Irineópolis – SC	20,0	19,0	5,5
10	Irineópolis – SC	22,5	19,5	8,0
10	Irineópolis – SC	23,0	20,0	7,10
12	Porto União - SC	28,5	24,0	12,0
12	Porto União - SC	28,5	24,5	12,9
12	Porto União - SC	24,5	22,0	10,7

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: DAP – diâmetro na altura do peito; H – altura total; Hc – altura comercial.

Porto União - SC está situado a latitude  $26^{\circ}14'34''S$ , longitude  $51^{\circ}4'28''W$  e altitude de 742 m. Já Irineópolis – SC situa-se a uma latitude  $26^{\circ}14'19''S$ , longitude  $50^{\circ}48'9''W$  e altitude de 754 m (FIGURA 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, os dois municípios apresentam clima temperado úmido com verão quente (Cfa). Quanto ao tipo de solo, segundo Potter et al. (2004) ambos os municípios apresentam principalmente latossolo bruno/vermelho escuro com alta saturação por alumínio trocável, horizonte superficial espesso e rico em matéria orgânica do tipo A húmico e textura muito argilosa.

FIGURA 1 – MUNICÍPIOS DE PORTO UNIÃO E IRINEÓPOLIS.



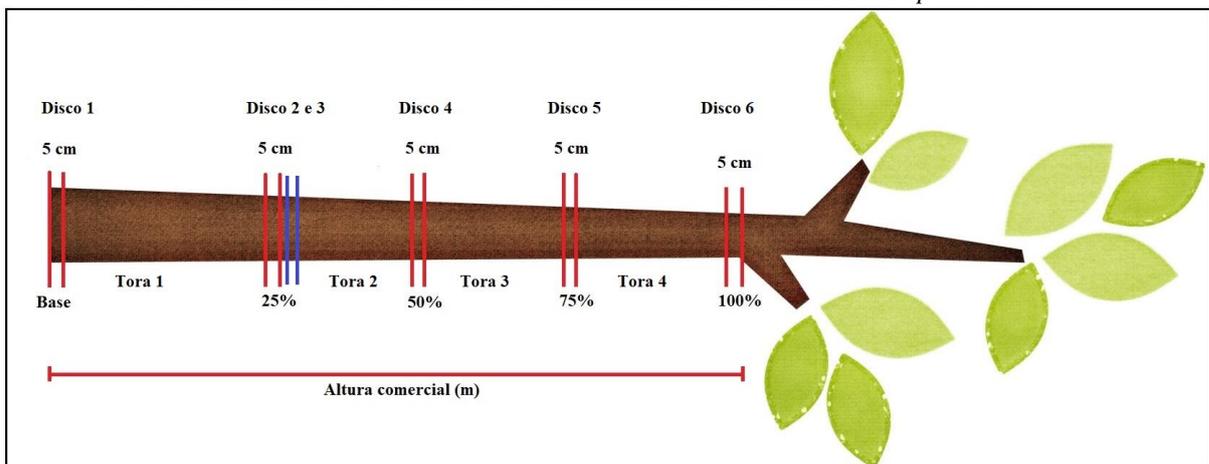
FONTE: A autora (2020).

As árvores selecionadas foram cortadas a 0,1 m do solo (base), desganhadas e seccionadas em 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, adotando-se como diâmetro de ponteira 16 cm. De cada altura de corte foram retirados discos de 5 cm de espessura (FIGURAS 2 e 3). As toras e discos foram utilizados para a determinação das propriedades da madeira e produção de painéis, conforme segue:

- Discos 1, 2, 4, 5 e 6 – determinação das propriedades físicas;
- Disco 3 – determinação das propriedades anatômicas e químicas;
- Tora 1 – laminação e confecção de painéis compensados nas idades de 10 e 12 anos;
- Tora 2 – determinação das propriedades mecânicas;
- Tora 4 – confecção de partículas e de painéis MDP e HDP nas idades de 8 e 12 anos.

Após o corte e seccionamento das árvores, todo o material foi transportado para o município de Irati – PR para dar início aos procedimentos necessários para a determinação das propriedades da madeira e produção dos painéis.

FIGURA 2 – LAYOUT PARA AMOSTRAGEM DA MADEIRA DE *Populus deltoides*.



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 3 – COLETA DE MATERIAL EM CAMPO.



FONTE: A autora (2017).

LEGENDA: A – plantio de *Populus deltoides*; B – corte da árvore a 0,10 m do solo; C – corte do disco de 5 cm de espessura; D – corte da tora.

#### 4 REFERÊNCIAS

ANDRADE, V. C. L. Modelos de *taper* do tipo expoente-forma para descrever o perfil do fuste de árvores. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 80, p. 271-283, 2014.

ARCE, J. E. Modelagem da estrutura de florestas clonais de *Populus deltoides* Marsh. através de distribuições diamétricas probabilísticas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 149-164, 2004. DOI: 10.5902/198050981790.

ASSIS, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA, A. D. Avaliação de modelos polinomiais não-segmentados na estimativa de diâmetros e volumes comerciais de *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 89-107, 2002. DOI: 10.5902/198050981704.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, 2013. 142 p.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DE EMPRESAS FLORESTAIS (AGEFLOR). **Dados e fatos 2016: ano base 2015**. Consufor: Curitiba, 2016. 96 p.

ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE FLORESTAL (APRE). **Estudo setorial 2017/2018**. Curitiba, 2018. 73 p.

BENDTSEN, B.A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**. v. 18, n. 1, p. 23–38, 1986.

BORODOWSKI, E. D. Álamos y sauces en el Delta del Paraná: situación del sector y silvicultura. **Actas Jornadas de Salicáceas**, Buenos Aires, p. 61-70, 2006.

CAMPOS, B. P. F.; BONOTI, D. H. B.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; BINOTI, M. L. M. S. Efeito do modelo de afilamento utilizado sobre a conversão de fustes de árvores em multiprodutos. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 513-520, 2014.

COBAS, A. C. “**Modelos de variación de propiedades del leño juvenil a maduro en Salicáceas y su influencia sobre pulpas quimimecánicas**”. 213 f. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, 2012.

COOPER, D.; HAVERBEKE, D. V. 1990. *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh. var. *deltoides*. IN: BURNS, R. M.; HONKALA, B. H. **Silvics of North America**: Vol. 2. Hardwoods. Washington: DC. p. 530–536.

CORTIZO, S.; MONTEVERDE, M. S.; ABBIATI, N. Diferencias físicas y mecánicas de la madera de cuatro clones de *Populus deltoides* seleccionados por el Programa de Mejora de INTA. II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madeira e II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, 17 al 19 de mayo 2017, Junín, Buenos Aires, Argentina. 10 p.

DEMİRKIR, C.; ÖZTÜRK, H.; ÇOLAKOĞLU, G. Effects of press parameters on some technological properties of polystyrene composite plywood. **Journal of Forestry Faculty**, v. 17, n. 3, p. 517-522, 2017. DOI: 10.17475/kastorman.285645.

DEMİRKIR, C.; AYDIN, I.; COLAKI, S.; OZTURK, H. Effects of plasma surface treatment on bending strength and modulus of elasticity of beech and poplar plywood. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v. 19, n. 2, p. 195-202, 2017. DOI: 10.4067/S0718-221X2017005000017.

DEZGENISKI, E. **Doações de árvores** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <everson.dezgeniski@swedishmatch.com.br>. 7 ago. 2015.

FIGUEIREDO FILHO, A.; RETSLAFF, F. A. S.; KOHLER, S. V.; BECKER, M.; BRANDES, D. Efeito da idade no afilamento e sortimento em povoamentos de *Araucaria angustifolia*. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 50-59, 2015. DOI: 10.1590/2179-8087.080114.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION (FAO). **Poplars and Willows**. Rome: FAO, 1979. (Forestry Series, 10).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **The IPC**. Disponível em:<<http://www.fao.org/forestry/ipc/en/>>. Acessado em: 24 abr. 2020.

FILIPPETTI, M. C.; GUILLAUMET, A. A.; TORTORIELLO, M.; MOSSRE, C. A. Potencial uso estrutural de la madera *Populus deltoides* cultivado en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. II Congresso Latinoamericano de Estruturas de Madeira e II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, 17 al 19 de mayo 2017, Junín, Buenos Aires, Argentina. 11 p.

FOWELLS, H. A. AND MEANS, J. E. The tree and its environment. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. **Silvics of North America**. Volume 2, Hardwoods. Agriculture Handbook 654. Washington: USDA Forest Service, p. 1–11. 1990.

GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2000. 421p.

GUILLAUMET, A. A.; MANAVELLA, R. D.; RELLO, L; A; PITER, J. C. Influencia de las dimensiones de la sección transversal sobre la resistencia a flexión en madera aserrada de *Populus deltoides* cultivado en argentina. **Maderas Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 4, p. 587 - 598, 2016. DOI: 10.4067/S0718-221X2016005000051.

HAFEZI, S. M.; ENAYATI, A.; HOSSEINI, K. D.; TARMIAN, A.; MIRSHOKRAI, S. A. Use of amino silane coupling agent to improve physical and mechanical properties of UF-bonded wheat straw (*Triticum aestivum* L.) poplar wood particleboard. **Journal of Forestry Research**, 427-431 p., 2015.

HARLOW, W. M.; HARRAR, E. S.; HARDIN, J. W.; WHITE, F. M. **Textbook of dendrology**: covering the important forest trees of the United States and Canada. Singapore, 1991. 501 p.

HUDA, A.; KOUBAA, A.; CLOUTIER, A.; HERNANDEZ, R. E.; PÉRINET, P.; FORTIN, Y. Phenotypic and Genotypic Correlations for Wood Properties of Hybrid Poplar Clones of Southern Quebec. **Forests**, v. 9, n. 140, p. 1-17, 2018. DOI: 10.3390/f9030140.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2019**. Brasília, 2019. 80 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2020**. Brasília, 2020. 66 p.

JAVARINI, E. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas de *Populus deltoides*, plantado nas várzeas do Vale Médio do Rio Iguaçu**. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal), Centro Universitário de União da Vitória, União da Vitória, 2011.

JIN, X. J.; KAMDEN, D. P. Chemical composition, crystallinity and crystallite cellulose size in *Populus* hybrids and aspen. **Cellulose Chemical Technology**, v. 43, n. 7-8, p. 229-234, 2009.

KLASNJA, B.; KOPITOVIC, S.; ORLOVIC, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 331-337, 2003. DOI: 10.1007/s00226-003-0179-3.

KOHLER, S. V.; KOEHLER, H. S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E.; MACHADO, S. A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. **FLORESTA**, v. 45, n. 3, p. 545-554, 2015. DOI: 10.5380/rf.v45i3.35746.

KUZOVKINA, Y.A.; VIETTO, L. An update on the cultivar registration of *Populus* and *Salix* (Salicaceae). **Skvortsovia**, v. 1, n. 2, p. 133-148, 2014.

LAU, P. C. **Produção de painéis de colagem lateral – EGP com madeira de *Populus deltoides***. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LEONARD, C. S. **Espécies alternativas usadas em florestas plantadas**. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

LUSTOSA JUNIOR, I. M.; LIMA, M. B. O.; NASCIMENTO, B. G.; JUNIOR, M. S. M.; CASTRO, R. V. O. Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *Eucalyptus* não desbastado. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, Suplemento 1, p. 59-65, 2017. DOI: 10.32404/rean.v4i5.2216.

MARTINEZ, M. G. **Caracterización anatómicadelas maderas de *Populus deltoides* Marshall ("Alamillo"), *Jacaranda mimosifolia* D.Don ("Jacaranda") y *Delonix regia* (Bojer) Raf. ("Tabachín Rojo")**. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – Divisão de Ciências Agrônômicas, Universidad de Guadalajara, Zapopan, 1996.

MEDEIROS, J. G. S.; HOPPE, J. M. Efeito da aplicação de calcário em estacas de *Populus deltoides* Bartr. ex Marsh cultivadas em vaso. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 161-167, 2002. DOI: 10.5902/198050981691.

MEDINA, A. A.; BAUCIS, A. G.; CATALÁN, M. A.; ANDÍAL, I. R.; TRANGONIL, F.; RAZQUIN, M.; PAMPIGLIONIL, A.; VUILLERMETL, A. Características y propiedades físicas de la madera de álamos cultivados en Río Negro, Patagonia Argentina. **Madera y Bosques**, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI: 10.21829/myb.2018.2411434.

MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. T. S.; NOGUEIRA, G.S.; ASSIS, A. L. Avaliação de funções de afilamento visando a otimização de fustes de *Eucalyptus* sp. para multiprodutos. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 71-82, 2007.

MIO, L. L. M.; AMORIN, L. Doenças do Álamo. **Floresta**, Curitiba, v. 30, n. 1/2, p. 139-153. 2000. DOI: 10.5380/rf.v30i12.2323.

NAUTIYAL, I.; GAUTAM, S. Preliminary study on suitability of combination plywood from *Melia composita* and *Populus deltoides*. In: TEWARI, S.; SAH, V.K.; LAVANIA, S.K. **Holistic Development of Agroforestry**, India: Jaya Publishing House, 2016. p. 177-182.

NOURBAKHS, A. Mechanical and Thickness Swelling of Particleboard Composites Made from Three-Year-Old Poplar Clones. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, n. 4, p. 481-489, 2010.

ÖNCEL, M.; VURDU, H.; AYDOĞAN, H.; ÖZKAN, O. E.; KAYMAKCIET, A. The tensile shear strength of outdoor type plywood produced from fir, alnus, pine and poplar wood. **Wood Research**, v. 64, n. 5, p. 913-920, 2019.

OTTO, G. M.; MOTTA, A. C. V.; REISSMAN, C. B. Resposta do álamo (*Populus deltoides* Marsh) à adubação nitrogenada em dois sítios do município de São Mateus do Sul, Paraná. **Ciência Florestal**, v. 17, n. 2, p. 81-90, 2007.

PESZLEN, I. Influence of age on selecten anatomical properties of populus clones. **IAWA Journal**, v. 15, n. 3, p. 311-321, 1994.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n. 46. 745 p.

SINGHDOHA, A.; BANGARWA, K. S.; JOHAR, V.; HOODA, B. K.; DHILLON, R. S. Assessment of general volume table for *Populus deltoides* in northern Haryana. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 1, p. 1665-1668, 2018.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Árvore**, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003. DOI: 10.1590/S0100-67622003000600007.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Plants database**. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/checklist.html>>. Acessado em: 20 ago. 2018.

YU, Q.; ZHANG, S.Y.; PLIURA, A.; MACKAY, J.; BOUSQUET, J.; PERINET, P. Variation in mechanical properties of selected young poplar hybrid crosses. **Forest Science**, v. 54, n. 3, p. 255-259, 2008. DOI: 10.1093/forestscience/54.3.255.

## CAPÍTULO 1 – CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE *Populus deltoides*

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi determinar as propriedades anatômicas e químicas das madeiras de *Populus deltoides* com 8, 10 e 12 anos de idade e indicar seus possíveis usos. Com amostras de tamanhos indefinidos retiradas dos discos obtidos em 25% da altura comercial das nove árvores selecionadas nas distintas idades, foi realizada a descrição macroscópica e organoléptica da madeira, confeccionadas lâminas histológicas e maceradas para a descrição microscópica e, realizadas as análises químicas e química imediata da madeira para a determinação do teor de extrativos em água fria, extrativos em água quente, extrativos em NaOH, extrativos em etanol-tolueno, lignina insolúvel, pH, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo. Para a caracterização anatômica das madeiras de *Populus deltoides*, destaca-se que as principais características foram grã reta, presença de tilo nos vasos, raios homogêneos unisseriados, parênquima axial ausente ou extremamente raro e aumento das dimensões dos elementos de vaso, raios e fibras com o avanço da idade. Para as propriedades químicas, destaca-se que com exceção do teor de carbono fixo, houve tendência de crescimento dos teores em função do aumento da idade. Em função das propriedades anatômicas e químicas obtidas, recomenda-se o uso da madeira de *Populus deltoides* para a produção de papel e celulose, painéis e produtos sólidos de madeira.

Palavras-chave: álamo; características macroscópicas e organolépticas; características microscópicas; análise química; análise química imediata.

## ANATOMICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE WOOD OF *Populus deltoides*

**Abstract:** The aim of this study was to determine the anatomical and chemical properties of *Populus deltoides* woods aged 8, 10 and 12 years old and to indicate their possible uses. With samples of indefinite sizes taken from the discs obtained in 25% of the commercial height of the nine selected trees at different ages, the macroscopic and organoleptic description of the wood was performed, histological and macerated slides were made for the microscopic description and the chemical and immediate chemical analyses of the wood were performed to determine the content of extractives in cold water, extracts in hot water, extracts in NaOH, extracts in ethanol-toluene, insoluble lignin, pH, ash, volatile materials and fixed carbon. For the anatomical characterization of *Populus deltoides* woods, it is highlighted that the main characteristics were straight grain, presence of tylosis in the vessels, uniseriate homogeneous rays, absent or extremely rare axial parenchyma and increase in the dimensions of the vessel elements, rays and fibers with advancing age. For chemical properties, it is noteworthy that, with the exception of the fixed carbon content, there was a tendency for the levels to increase due to the increase in age. Due to the anatomical and chemical properties obtained, the use of *Populus deltoides* wood is recommended for the production of paper and cellulose, panels and solid wood products.

Keywords: poplar; macroscopic and organoleptic characteristics; microscopic characteristics; chemical analysis; immediate chemical analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A caracterização anatômica da madeira é de extrema importância, pois contribui para a solução de questões taxonômicas, evolutivas e ecológicas (SILVA et al., 2011). Juntamente com as características químicas auxiliam na correta utilização da madeira por meio da compreensão das suas influências nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas e acústicas, bem como nos usos para colagem, queima, etc (EVANGELISTA et al., 2010).

Diversas transformações na composição anatômica e química, ocorrem à medida que a árvore envelhece, interferindo na qualidade da madeira e, conseqüentemente, na idade de corte (VIDAURRE et al., 2012; CARNEIRO et al., 2014; SOARES et al., 2015).

A utilização da madeira de folhosas para a produção polpa e papel tem como preferência a presença de fibras com maiores espessuras de parede, pois tendem a produzir polpas com maiores “coarseness” e papéis com volumes específicos aparentes mais elevados (GOMIDE et al., 2005). Alves et al. (2011) complementaram que a presença de vasos é desejável para a penetração e impregnação dos cavacos pelos reagentes, em contrapartida a presença em maior proporção dessas células implica em madeira com menor densidade e conseqüentemente menor rendimento do produto final. Quanto a composição química da madeira, é desejável principalmente menores teores de lignina e extrativos, pois ambos impactam diretamente sobre a carga alcalina necessária para polpação e, por conseqüência, no rendimento final e qualidade da polpa (ANTUNES, 2009).

De acordo com Paula (2005) madeiras ricas em vasos e em células parenquimáticas não devem ser utilizadas para produção de carvão vegetal em termos econômicos e rendimento energético, por apresentarem baixo teor de celulose, lignina e hemiceluloses o que significa pouca biomassa para sustentar uma combustão duradoura. Ao contrário, madeiras ricas em fibras de parede espessa, com altos teores de lignina e carbono fixo, e baixos teores de cinzas e materiais voláteis, são características desejáveis da madeira para a produção de carvão vegetal (CHAVES et al., 2013; CARNEIRO et al., 2014; CHAGAS et al., 2014; GOUVÊA et al., 2015; BRUN et al., 2018).

Para a produção de painéis, as principais características que interferem na penetração da resina são os anéis de crescimento (lenho inicial e tardio), a percentagem de cerne e alburno, a presença ou não de lenhos de reação, o tipo de grã, porosidade, as dimensões das fibras e raios e a presença ou não de substâncias especiais, como por exemplo, tiloses (FRIHART; HUNT, 2010; ALBINO; MORI; MENDES, 2012). Já a formação da ligação

adesiva e a higroscopicidade de painel, sofrem influência do teor de extrativos e pH da madeira (TRIANOSKI et al., 2011, 2016).

Quando se trata de produtos sólidos de madeira, é desejável madeiras que apresentem grã direita, textura fina e baixo teor de sílica. Estas características propiciam facilidade no seu processamento mecânico e podem evitar defeitos indesejados oriundo do processo de secagem (MARRA, 1992; NIGOSKI, 1999; ANGYALOSSY; AMANO; ALVES, 2005; GONÇALEZ et al., 2006).

Ao determinar as características macro e microscópicas das madeiras de *Populus deltoides* na idade de 8 anos cultivadas em três locais diferentes na região metropolitana de Guadalajara no México, Martinez (1996) relatou as mesmas características anatômicas para as madeiras dos três locais estudados. A autora ainda destacou a presença de tilos nos vasos que pode dificultar a secagem, a colagem e aplicação de produtos de acabamento superficial na madeira.

Ao analisar a composição química e a morfometria das fibras no sentido axial e radial da madeira de *Populus deltoides* clone “Austrália 129-60” com 17 anos de idade plantada em Buenos Aires, na Argentina, Cobas (2012) afirmou que as características analisadas se mostraram homogêneas em ambos os sentidos estudados.

Diante do exposto, teve-se por objetivo determinar as propriedades anatômicas e químicas das madeiras de *Populus deltoides* com 8, 10 e 12 anos de idade plantadas na região Sul do país e indicar seus possíveis usos.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

As propriedades anatômicas e químicas das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos, foram determinadas a partir de amostras retiradas do disco obtido em 25% da altura comercial do fuste das árvores selecionadas (ver item 3 MATERIAL e FIGURA 2, pgs. 4-7).

A caracterização macroscópica e organoléptica (cor, odor, textura e grã) da madeira foi realizada com base na metodologia proposta por Coradin e Muniz (1991), analisando os discos nos planos anatômicos transversal, radial e tangencial, a olho nu ou com lente de aumento de 10 vezes, com o intuito de identificar, independente do plano de corte, a cor, odor, textura, visibilidade dos anéis de crescimento, tipo de grã, parênquima axial, poros e raios.

Para a caracterização microscópica, foram confeccionadas lâminas histológicas e maceradas. Desta forma, as amostras obtidas foram enviadas ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Primeiramente, foram confeccionados corpos de prova cúbicos de 1,5 cm orientados nos três planos anatômicos, transversal, radial e

tangencial. Em seguida, foi realizado o cozimento em água para amolecimento da madeira e, com o auxílio de um micrótomo de deslize, foram realizados cortes de seções histológicas na espessura de 25  $\mu\text{m}$  nos três planos anatômicos. Após o corte, as amostras foram descoloridas em solução de hipoclorito de sódio, tingidas em solução de azul de astra e safranina e, desidratadas em série etanólica e acetato de butila, para posteriormente serem montadas em lâminas permanentes com resina sintética.

Para a confecção das lâminas maceradas, foi adotado o processo de maceração de acordo com a técnica de Franklin (1975) modificada, descrita por Kraus e Arduin (1997), utilizando a solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético 1:1, permanecendo em estufa a 60°C por 24h. Após este período, as amostras foram lavadas com água destilada, coradas com safranina, desidratadas em série alcoólica ascendente, e por fim montadas as lâminas permanentes.

De posse das lâminas, foram identificados os elementos anatômicos nos três planos de corte, radial, tangencial e transversal, por meio de microscópio óptico, seguindo as recomendações da IAWA (1989) (FIGURA 4) e, as medições realizadas com auxílio de *software* livre ImageJ. Foram tomadas as medidas de frequência, diâmetro tangencial e espessura da parede dos vasos; diâmetro das pontoações; frequência, altura e largura dos raios; diâmetro de lúmen, comprimento, espessura da parede e largura das fibras. Com exceção da frequência dos vasos e dos raios como também as dimensões correspondentes aos raios, para as demais características foi realizado no mínimo 25 medições.

FIGURA 4 – IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS.



FONTE: A autora (2018).

A partir dos valores obtidos para as dimensões das fibras e com o intuito de analisar a adequabilidade das madeiras em estudo para a produção de celulose e papel, foram calculados os seguintes índices conforme preconizam Milanez e Foelkel (1981): fração de parede (%),

obtido por  $FP = ((2 * \text{espessura de parede}) / \text{largura}) * 100$ ; coeficiente de flexibilidade (%), obtido por  $CF = (\text{diâmetro de lúmen} / \text{largura}) * 100$ ; índice de Runkel, obtido por  $IR = (2 * \text{espessura de parede}) / \text{diâmetro de lúmen}$ ; e índice de enfieltramento, obtido por  $IE = \text{comprimento} / \text{largura}$ .

Para caracterização química, as amostras de madeira foram transformadas em cavacos em um picador/triturador forrageiro. Seguindo-se as recomendações da norma TAPPI 257 (TAPPI, 2002), os cavacos obtidos foram moídos em moinho do tipo Wiley, sendo o material classificado por meio de peneiras. O material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh foi utilizado nesta análise.

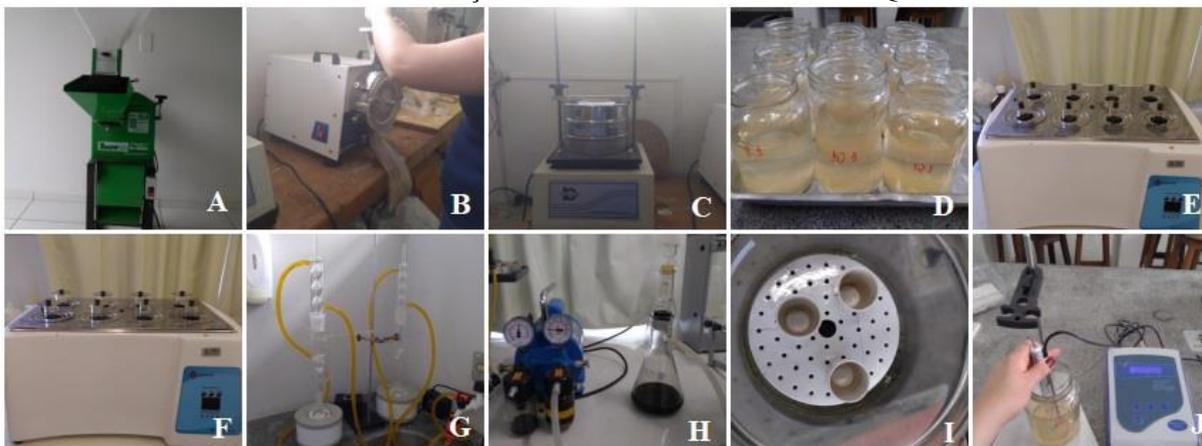
As determinações dos componentes químicos foram efetuadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Estadual do Centro-Oeste, *Campus Irati*, sendo as análises efetuadas em triplicata para cada idade estudada (FIGURA 5). Amostras dos materiais foram também encaminhadas a um laboratório particular credenciado para repetição das análises e conferência.

As propriedades químicas e a composição química imediata da madeira, bem como as respectivas normas utilizadas foram:

- Extrativos em água fria (compostos inorgânicos, taninos, gomas, açúcares e materiais corantes presentes na madeira): TAPPI 207 (TAPPI, 1999);
- Extrativos em água quente (amido, compostos inorgânicos, taninos, gomas, açúcares e materiais corantes presentes na madeira): TAPPI 207 (TAPPI, 1999);
- Extrativos em hidróxido de sódio (NaOH) (carboidratos de baixo peso molecular que consistem principalmente em hemicelulose e celulose degradada): TAPPI 212 (TAPPI, 2002);
- Extrativos em etanol - tolueno (ceras, gorduras, resinas, fitoesteróis, hidrocarbonetos não voláteis, carboidratos de baixo peso molecular, sais e outras substâncias solúveis em água): TAPPI 204 (TAPPI, 1997);
- Lignina insolúvel (os carboidratos e cerca de 3 a 5% de lignina são hidrolisados e solubilizados pelo ácido sulfúrico, permanecendo então a lignina insolúvel em ácido): TAPPI 222 (TAPPI, 2002);
- Cinzas na madeira (parte inorgânica da madeira, composta principalmente por potássio, cálcio, magnésio, sódio, ferro, sílica, sulfato, fosfato, cloreto e carbonato): TAPPI 211 (TAPPI, 2002);
- Materiais voláteis (percentagem de produtos gasosos liberados durante a combustão da madeira): ASTM E 872-82 (ASTM, 2019)

- Carbono fixo: NBR 8112 (ABNT, 1986);
- pH (potencial hidrogeniônico): TAPPI 252 (TAPPI, 2002).

FIGURA 5 – PREPARAÇÃO DO MATERIAL E ANÁLISES QUÍMICAS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – picador/triturador forrageiro; B – moinho do tipo Wiley; C – agitador de peneiras; D – análise para determinação do teor de extrativos em água fria; E – análise para determinação do teor de extrativos em água quente; F – análise para determinação do teor de extrativos em hidróxido de sódio; G – análise para determinação do teor de extrativos em etanol-tolueno; H – análise para determinação do teor de lignina insolúvel; I – análise para determinação do teor de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo; J – medição do pH.

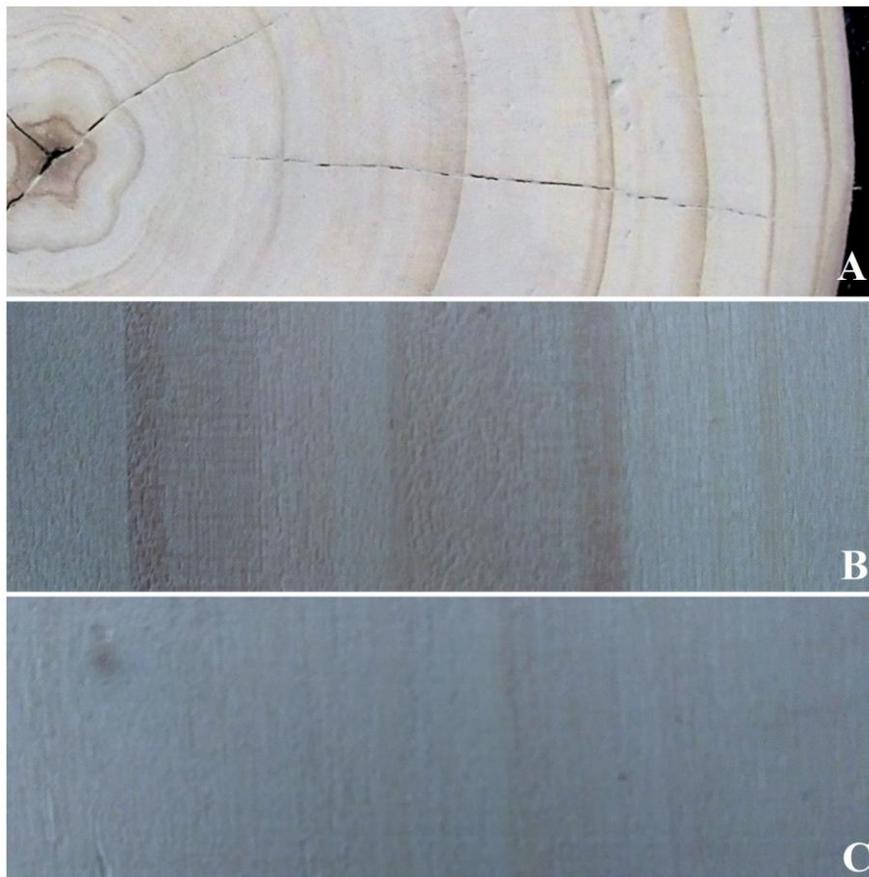
Com valores obtidos para os elementos anatômicos e as propriedades químicas das madeiras de *Populus deltoides*, determinou-se para cada propriedade analisada nas três idades em estudo a média aritmética, o valor mínimo e máximo, desvio padrão e o coeficiente de variação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 PROPRIEDADES ANATÔMICAS

As madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos apresentaram cerne e albúrnio indistintos, com anéis de crescimento distintos e coloração esbranquiçada (FIGURAS 6, 7 e 8). Possui odor desagradável quando recém cortada, desaparecendo após secagem. Com grã direita e textura média, sem brilho. Parênquima axial, poros e raios são imperceptíveis a olho nu ou sob a lente de aumento (10 vezes).

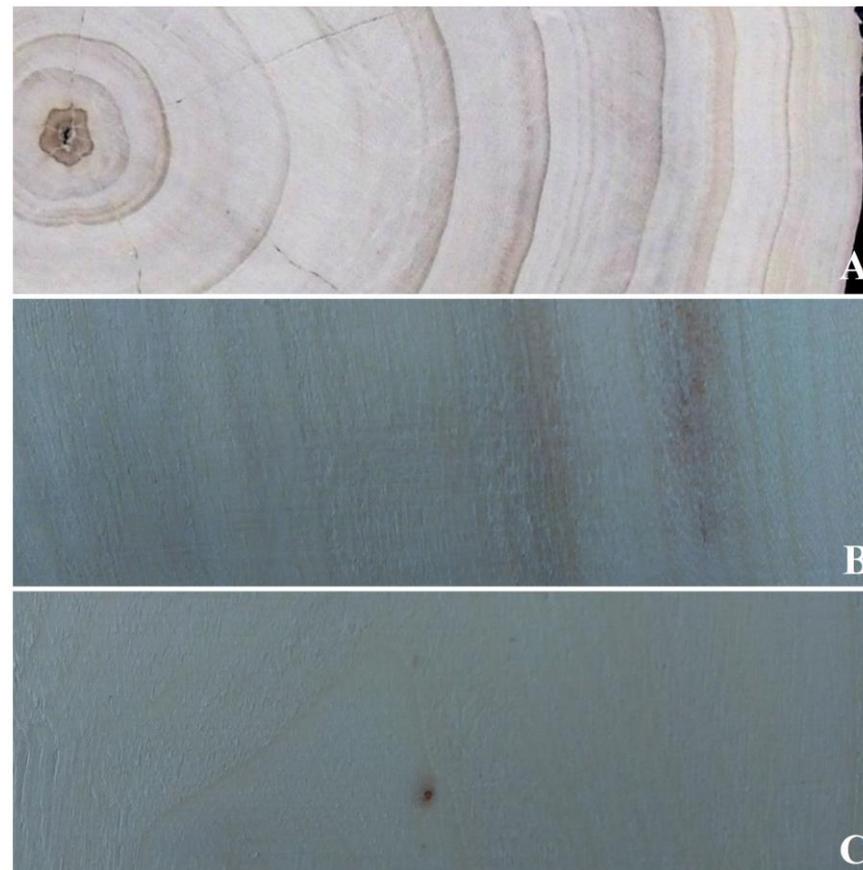
FIGURA 6 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE *Populus deltoides* NA IDADE DE 8 ANOS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – plano transversal; B – plano radial; C – plano tangencial.

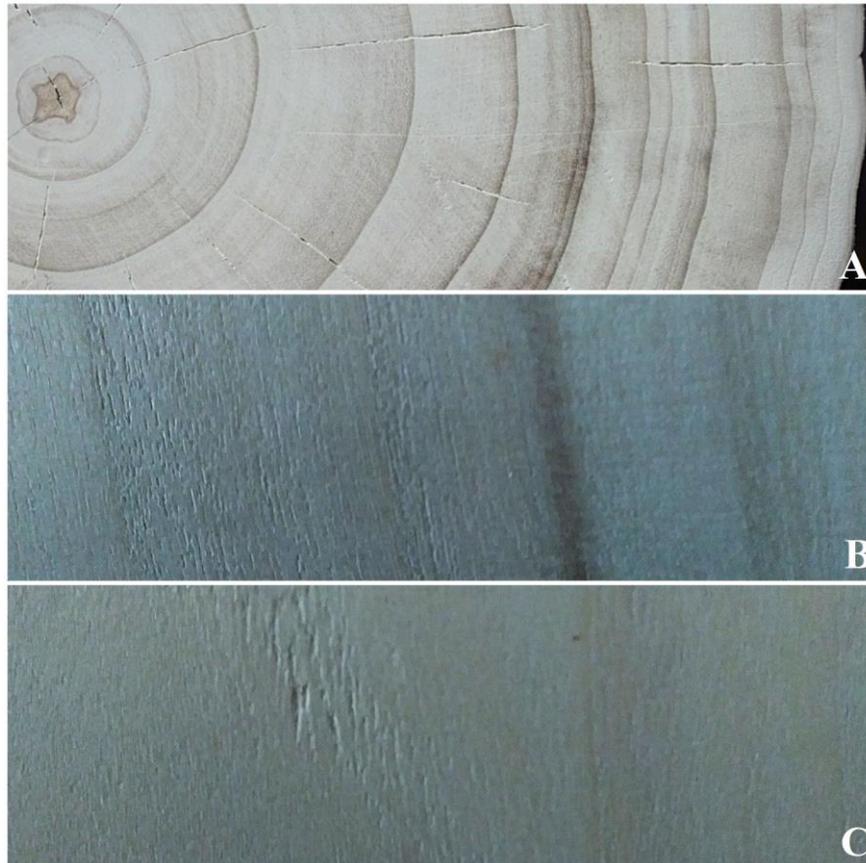
FIGURA 7 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE *Populus deltoides* NA IDADE DE 10 ANOS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – plano transversal; B – plano radial; C – plano tangencial.

FIGURA 8 – PLANOS DE CORTE DA MADEIRA DE *Populus deltoides* NA IDADE DE 12 ANOS.

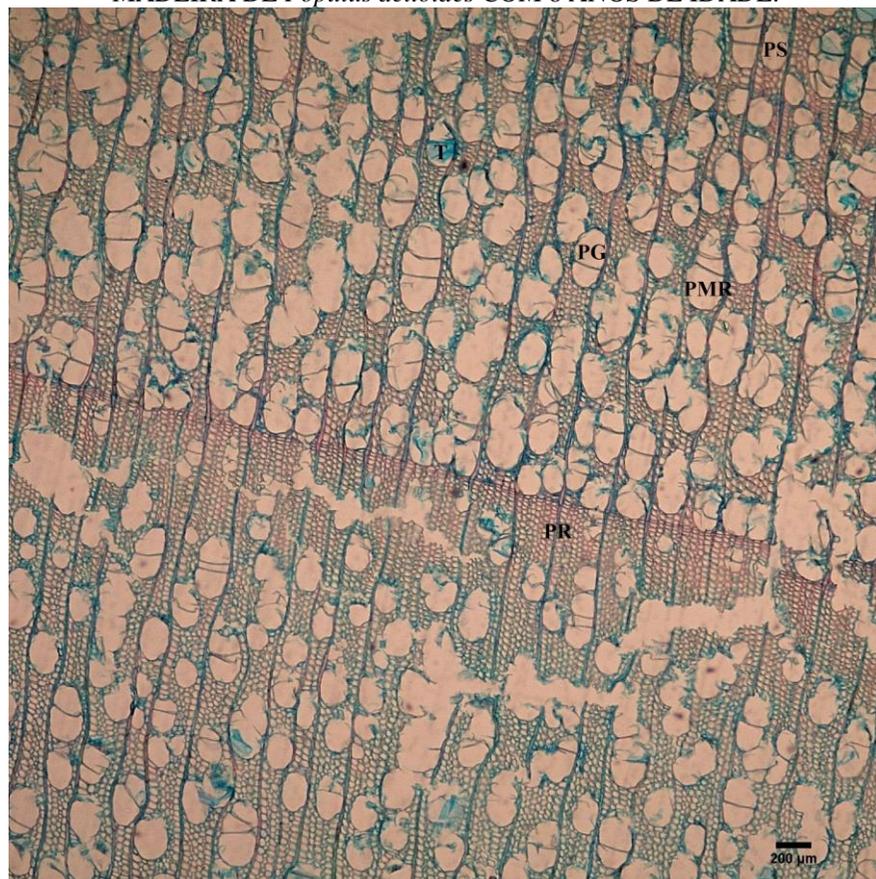


FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – plano transversal; B – plano radial; C – plano tangencial.

Pelas imagens microscópicas apresentadas nas Figuras 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20 e pelos dados biométricos dos elementos anatômicos com valores médios e estatísticos apresentados na Tabela 2, as madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos, apresentaram porosidade em anel semicircular, com frequência de 23,69 / 21,63 / 21,00 / mm<sup>2</sup>; poros solitários, geminados e múltiplos radiais, de seção ovalada a circular (114,47 / 127,12 / 143,01 μm), de paredes delgadas (4,16 / 4,75 / 50,3 μm) e obstruídos em parte por tilos; pontoações intervasculares alternas (26,09 / 29,82 / 31,71 μm); pontoações raio-vasculares restritas às células marginais (20,91 / 21,53 / 23,74 μm); parênquima axial ausente ou extremamente raro; parênquima radial homogêneo unisseriado com frequência de 5,44 / 5,31 / 5,06 / mm, 458,40 / 474,56 / 555,82 μm de altura e 13,82 / 15,29 / 17,17 μm de largura; fibras libriformes, não septadas, curtas (816,21 / 966,21 / 1003,86 μm), de paredes delgadas (3,90 / 4,00 / 4,39 μm), com 13,30 / 14,62 / 16,15 μm de diâmetro do lúmen e 17,99 / 18,67 / 19,87 μm de largura.

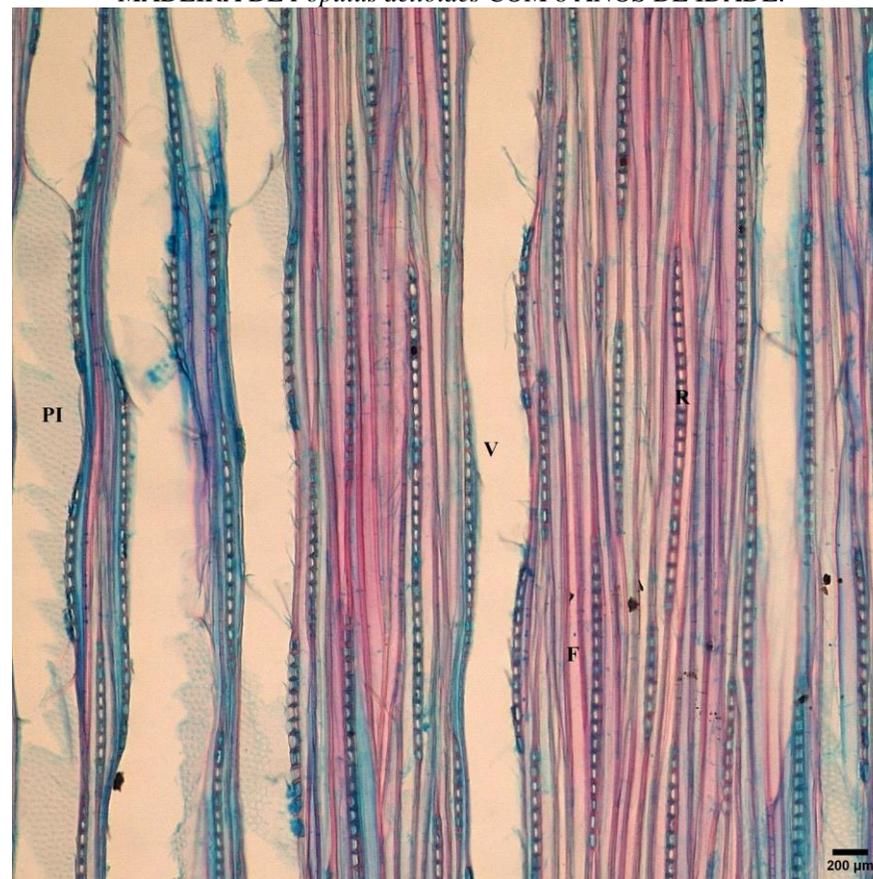
FIGURA 9 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 8 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: PS – poro solitário; PG – poro geminado; PMR – poro múltiplo radial; PR – parênquima radial; T – tilo.

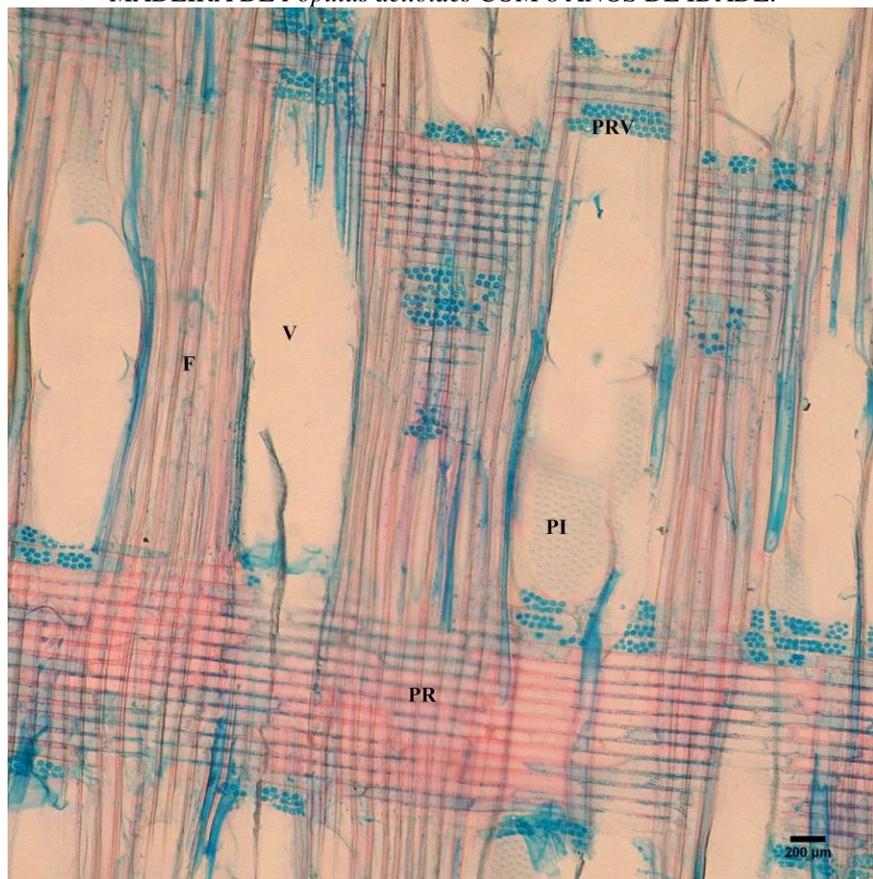
FIGURA 10 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 8 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas.

FIGURA 11 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 8 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

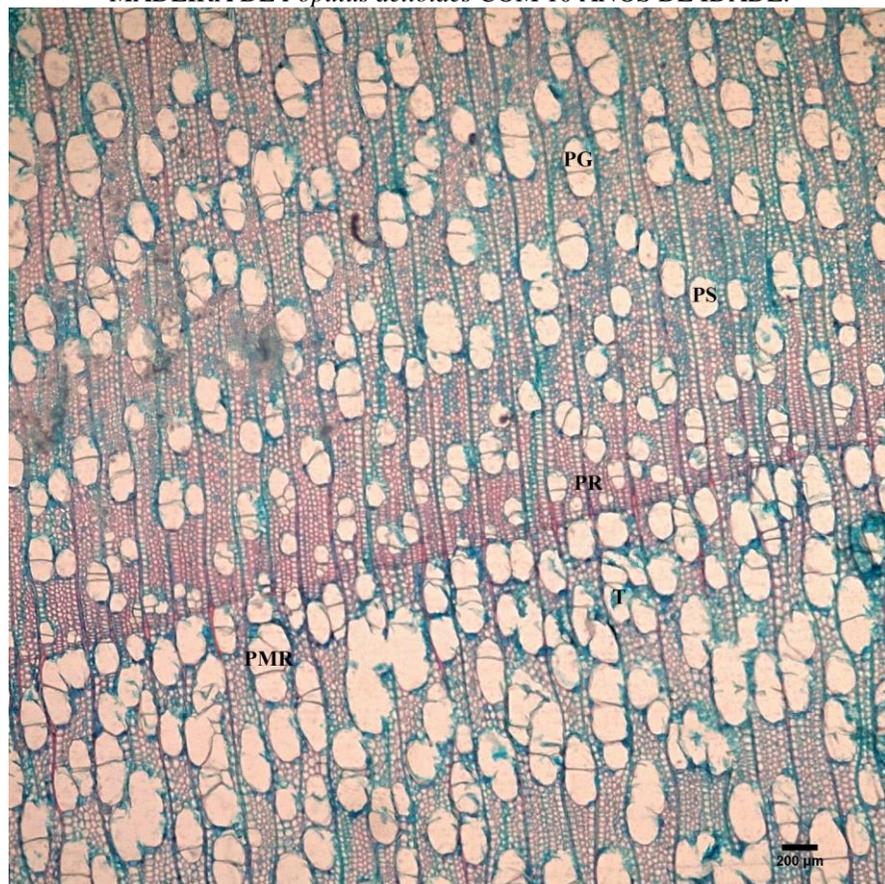
LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas; PRV – pontoações raio-vasculares restritas as células marginais.

FIGURA 12 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 8 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

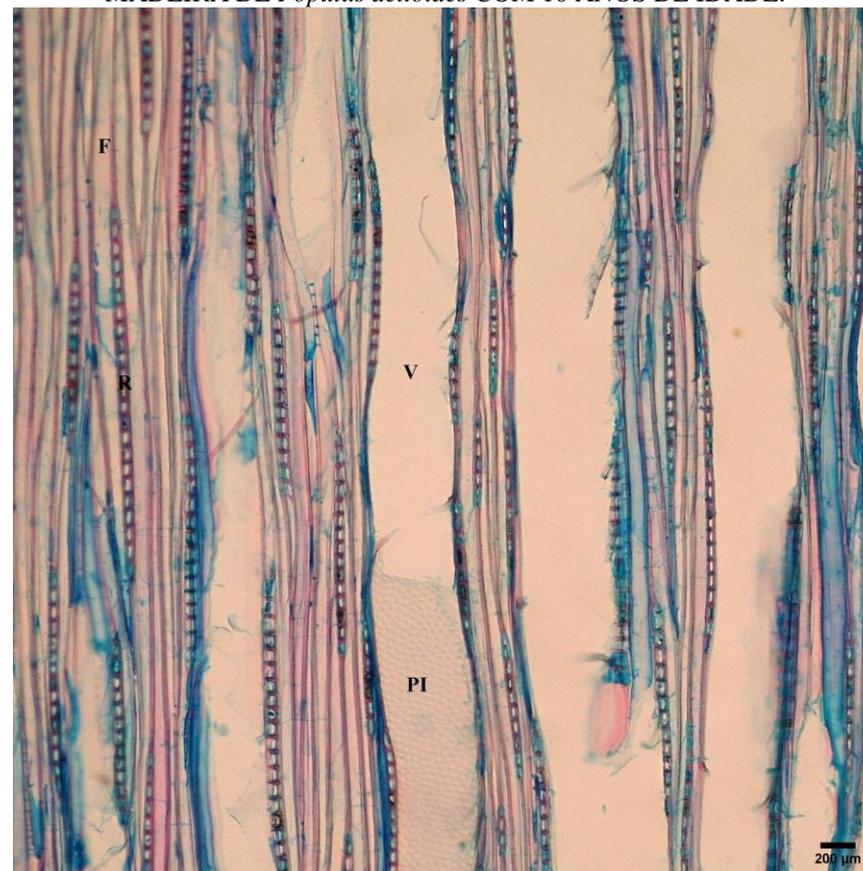
FIGURA 13 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 10 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: PS – poro solitário; PG – poro geminado; PMR – poro múltiplo radial; PR – parênquima radial; T – tilo.

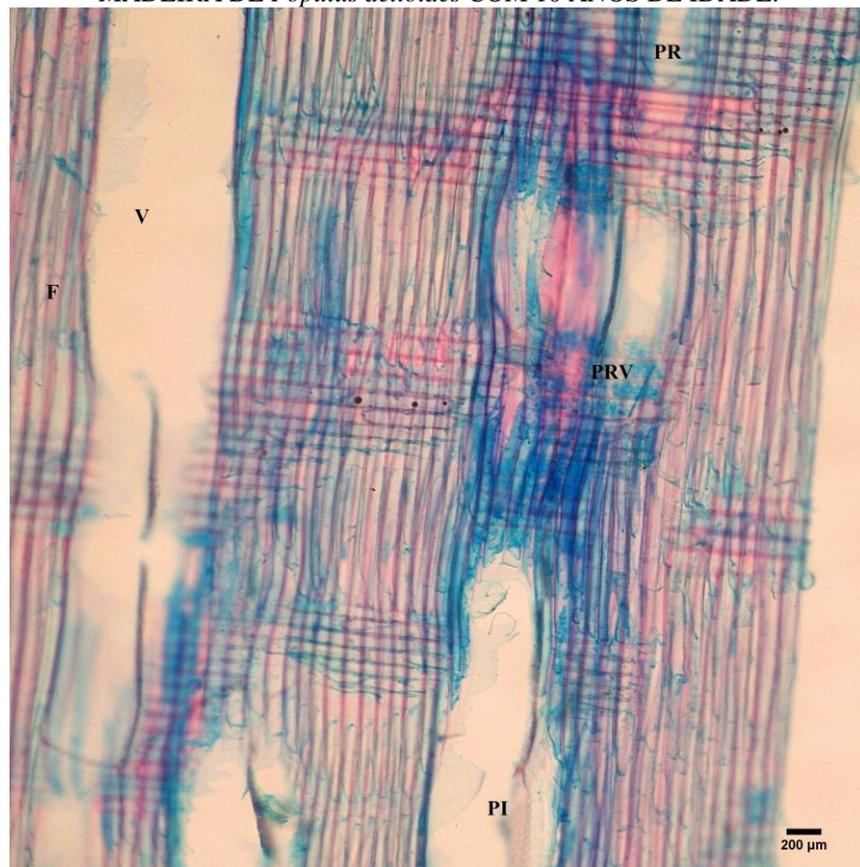
FIGURA 14 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 10 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas.

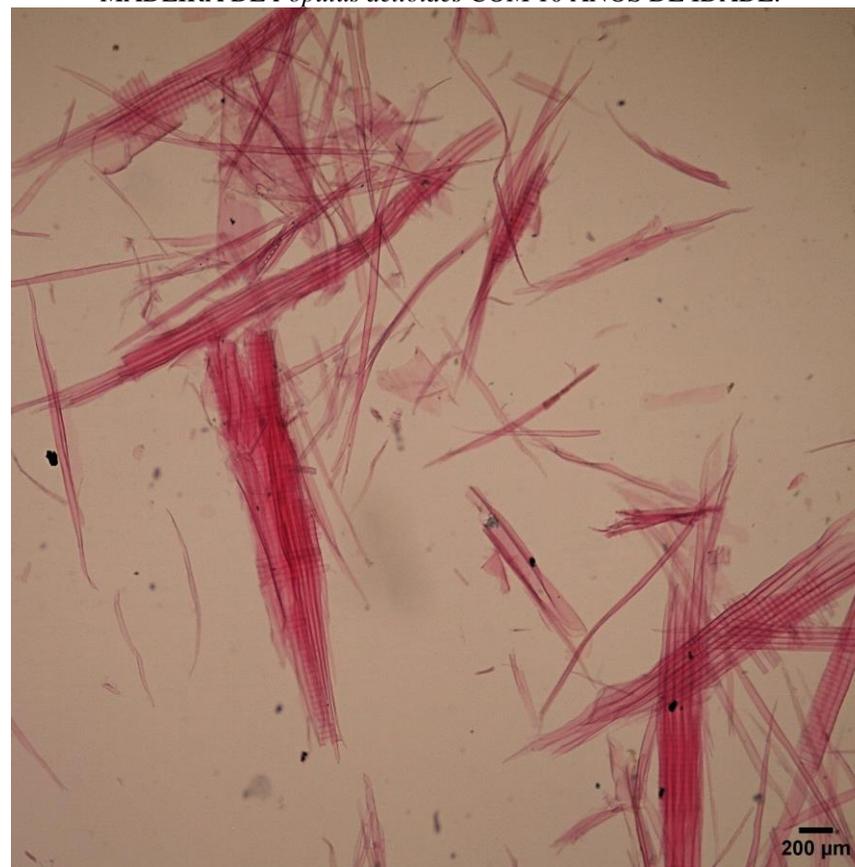
FIGURA 15 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 10 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas; PRV – pontoações raio-vasculares restritas as células marginais.

FIGURA 16 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 10 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

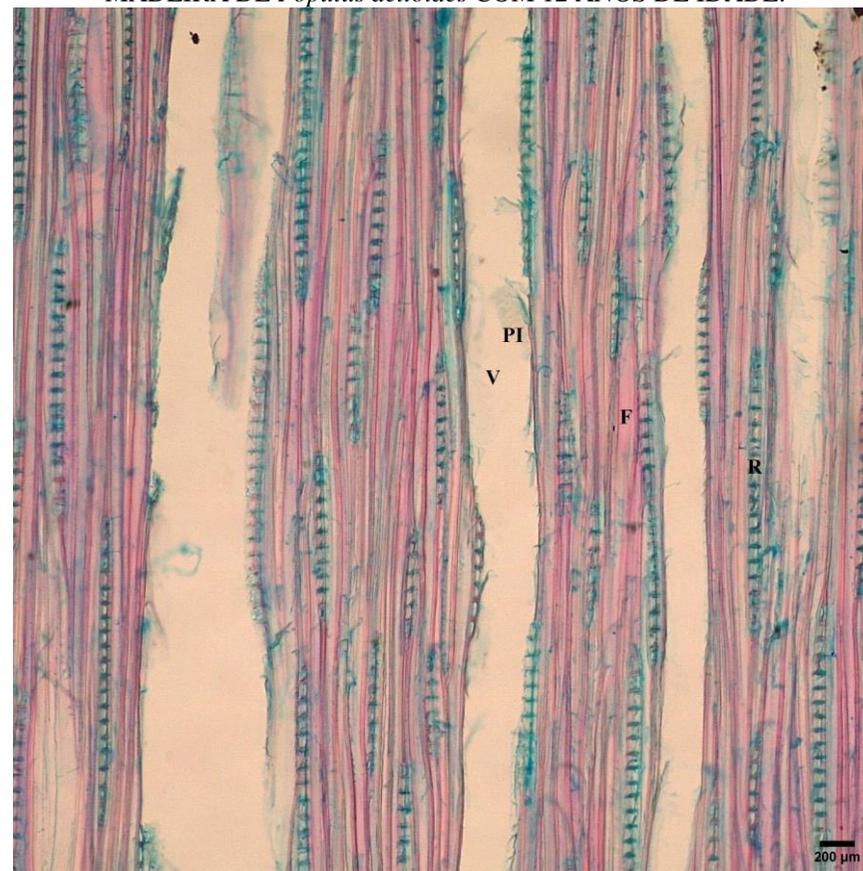
FIGURA 17 – IMAGEM MICROSCÓPICA DO PLANO TRANSVERSAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 12 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: PS – poro solitário; PG – poro geminado; PMR – poro múltiplo radial; PR – parênquima radial; T – tilo.

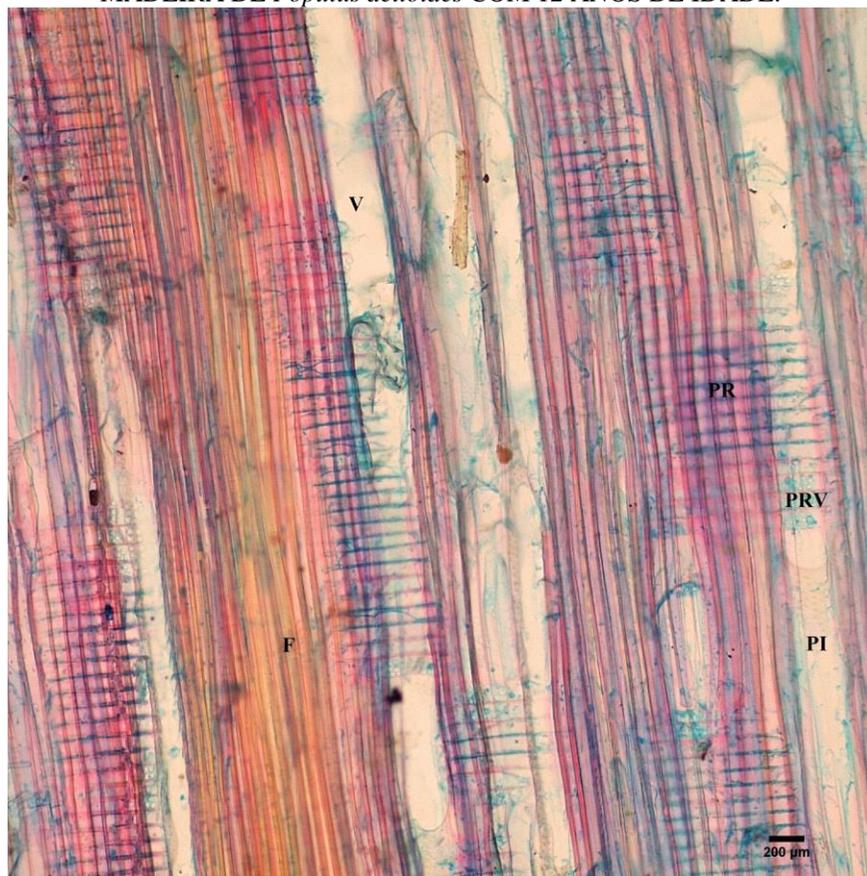
FIGURA 18 – IMAGENS MICROSCÓPICA DO PLANO TANGENCIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 12 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas.

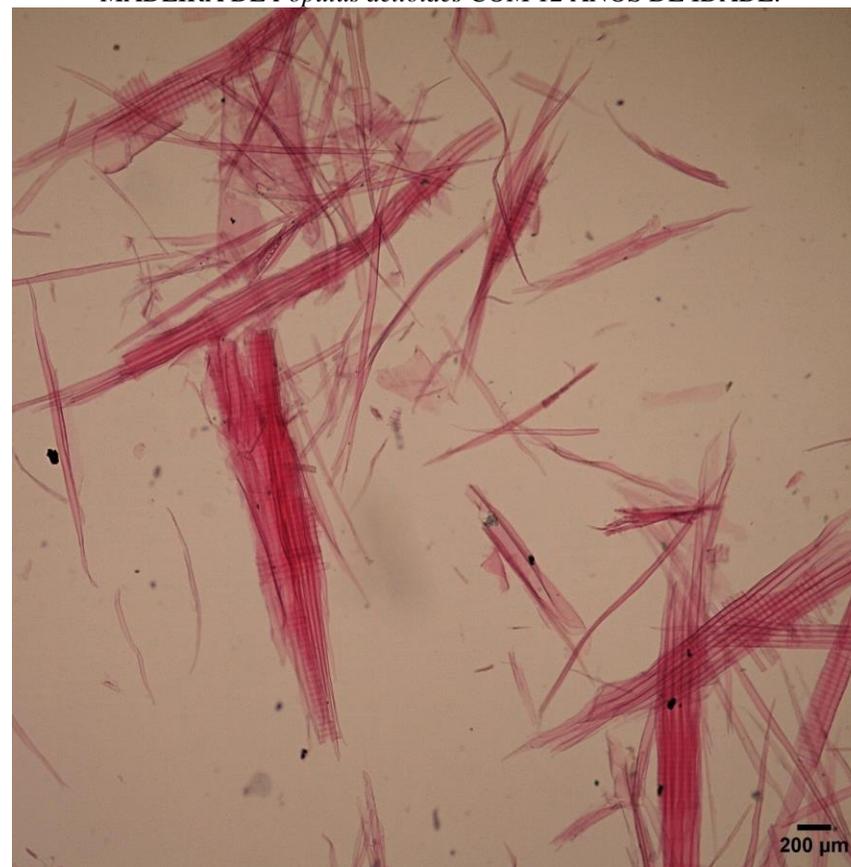
FIGURA 19 – IMAGENS MICROSCÓPICA DO PLANO RADIAL DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 12 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: V – vaso; F – fibra libriforme; R – raio homogêneo unisseriado; PI – pontoações intervasculares alternas; PRV – pontoações raio-vasculares restritas as células marginais.

FIGURA 20 – MACERADO DE MATERIAL APRESENTANDO FIBRAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* COM 12 ANOS DE IDADE.



FONTE: A autora (2018).

TABELA 2 - BIOMETRIA DOS ELEMENTOS ANATÔMICOS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* NAS TRÊS IDADES EM ESTUDO.

Idade (anos)	Vasos			Diâmetro das pontoações		Parênquima radial			Fibras				
	F (vaso/mm <sup>2</sup> )	Dt (µm)	Ep (µm)	I (µm)	Rv (µm)	F (raio/mm)	A (µm)	L (µm)	Dl (µm)	C (µm)	Ep (µm)	L (µm)	
8	Mínimo	20,00	90,13	3,24	21,30	16,09	5,00	258,91	8,63	8,63	624,20	2,84	12,41
	Média	<b>23,69</b>	<b>114,47</b>	<b>4,16</b>	<b>26,09</b>	<b>20,91</b>	<b>5,44</b>	<b>458,40</b>	<b>13,82</b>	<b>13,30</b>	<b>816,21</b>	<b>3,90</b>	<b>17,99</b>
	Máximo	31,00	136,74	5,39	31,95	23,61	7,00	630,00	19,42	17,26	991,72	4,78	24,07
	Desvio padrão	3,53	13,41	0,83	2,78	1,90	0,63	112,52	2,76	2,60	110,41	0,64	3,49
	Coefficiente de variação (%)	14,92	11,71	19,97	10,64	9,09	1,57	24,55	20,00	19,52	13,53	16,52	19,38
10	Mínimo	14,00	102,56	3,24	23,43	17,17	4,00	315,00	10,79	10,79	664,11	3,01	13,46
	Média	<b>21,63</b>	<b>127,12</b>	<b>4,75</b>	<b>29,82</b>	<b>21,53</b>	<b>5,31</b>	<b>474,26</b>	<b>15,29</b>	<b>14,62</b>	<b>966,21</b>	<b>4,00</b>	<b>18,67</b>
	Máximo	30,00	145,54	5,39	34,08	25,75	7,00	668,91	20,50	18,34	1288,38	4,78	24,81
	Desvio padrão	4,50	15,54	0,73	3,45	2,58	1,01	109,59	2,22	2,28	192,31	0,61	3,89
	Coefficiente de variação (%)	20,81	12,23	15,47	11,56	12,01	19,10	23,11	14,49	15,61	19,90	15,28	20,85
12	Mínimo	15,00	102,11	4,32	27,69	18,60	4,00	377,59	11,33	13,30	637,59	3,17	15,34
	Média	<b>21,00</b>	<b>143,01</b>	<b>5,03</b>	<b>31,71</b>	<b>23,74</b>	<b>5,06</b>	<b>555,82</b>	<b>17,17</b>	<b>16,15</b>	<b>1003,86</b>	<b>4,39</b>	<b>19,87</b>
	Máximo	27,00	169,53	6,47	38,34	27,90	6,00	671,15	22,65	20,57	1384,40	5,32	23,79
	Desvio padrão	3,65	24,89	0,86	3,79	2,80	0,57	99,78	3,64	2,02	229,05	0,76	2,62
	Coefficiente de variação (%)	17,39	17,40	17,05	11,94	11,79	11,33	17,95	21,22	12,49	22,82	17,42	13,17

LEGENDA: F – frequência; Dt – diâmetro tangencial; Ep – espessura da parede; I – intervasculares; Rv – raio-vasculares; A – altura; L – largura; Dl – diâmetro do lúmen; C – comprimento.

De acordo com os valores médios apresentados na Tabela 2, pode-se verificar que o diâmetro tangencial dos vasos e a largura dos raios aumentaram com a idade, características refletidas e corroboradas pela variação no número de poros por milímetro quadrado e pela variação da quantidade de raios por milímetro, que tenderam a diminuir com o envelhecimento da árvore. Quanto ao diâmetro das pontoações intervasculares e raio-vasculares, como também as dimensões referentes as fibras, foi constatado tendência de aumento dos valores médios com o acréscimo da idade.

Igualmente a este estudo, Peszlen (1994) ao analisar a morfometria das fibras e dos vasos, como também a área da parede celular e dos raios de três clones do híbrido euroamericano *Populus x euramericana* ('1-214/'Kopecky/'Koltay') coletados em plantações com idade de 10 e 14 anos, localizadas na Hungria, constatou influência da idade sob os elementos anatômicos analisados, atribuindo este fato ao aumento do tamanho das células iniciais cambiais com a idade e que está intimamente relacionado ao desenvolvimento do caule e da copa. Tomazello Filho (1987) complementa que as alterações das dimensões dos elementos anatômicos refletem diretamente nas propriedades físico-mecânicas da madeira, além do processo de secagem, penetração de licor nos cavacos durante o processo de deslignificação e nas propriedades da celulose e do papel.

A influência da idade sob as dimensões dos elementos anatômicos, também foi relatada para a madeira de *Eucalyptus grandis* com idades de 10, 14, 20 e 25 anos (SILVA et al., 2007); *Eremanthus erythropappus* com idades de 24 a 45 anos (MORI et al., 2010); *Eucalyptus grandis* com idades de 2, 4 e 6 anos (SETTE JR et al., 2012); e *Tectona grandis* com idades de 6, 12 e 14 anos (CHAGAS, et al., 2014).

A descrição macroscópica, organoléptica e microscópica obtida para as madeiras de *Populus deltoides* nas três idades em estudo, é semelhante a algumas características descritas por Martinez (1996) e Medina et al. (2018) para espécies do gênero *Populus*.

Martinez (1996) caracterizou anatomicamente as madeiras de *Populus deltoides* na idade de 8 anos cultivadas em três locais diferentes na região metropolitana de Guadalajara no México, e relatou as seguintes características: cerne cinza avermelhado; alborno marrom claro; anéis de crescimento não bem definidos; sem odor; sabor indistinguível; textura média; grã levemente entrecruzada; pouco brilho; porosidade semi-difusa, com poros múltiplos radiais e solitários, de seção ovalada, com presença de tilos, visíveis com lupa; pontoações raio-vasculares; pontoações intervasculares alternas; parênquima axial apotraqueal marginal não visível com lupa; parênquima radial homogêneo unisseriado muito fino; e fibras libriiformes.

Medina et al. (2018) caracterizaram macroscopicamente as madeiras de *Populus nigra* cv *thaisiana*, *Populus alba* var *bolleana* e o híbrido euroamericano *P. x canadensis* (*Populus deltoides* x *Populus nigra*), selecionadas em áreas de plantios utilizados como quebra-ventos na cidade de Allen, província de Río Negro na Argentina. Segundo os autores a madeira das espécies analisadas apresentaram cor clara, com pouca ou nenhuma diferença entre alborno e cerne; ausência de odor e brilho; textura fina; e grã direita.

Os índices qualitativos determinados a partir da morfologia das fibras das madeiras de *Populus deltoides* resultaram em valores médios próximos para as três idades em estudo, como pode ser visto na Tabela 3.

TABELA 3 - ÍNDICES INDICATIVOS DA QUALIDADE DAS FIBRAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* AOS 8, 10 E 12 ANOS DE IDADE PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.

Idade (anos)	Fração da parede (%)	Coefficiente de flexibilidade (%)	Índice de Runkel	Índice de enfiletramento	
<b>8</b>	Mínimo	39,70	0,53	44,84	
	<b>Média</b>	<b>44,42</b>	<b>0,55</b>	<b>49,15</b>	
	Máximo	49,69	0,57	58,58	
	Desvio padrão	2,92	7,18	0,01	4,74
	<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>6,58</b>	<b>8,68</b>	<b>1,86</b>	<b>9,63</b>
<b>10</b>	Mínimo	38,51	0,52	48,11	
	<b>Média</b>	<b>43,84</b>	<b>0,54</b>	<b>50,97</b>	
	Máximo	50,21	0,61	54,24	
	Desvio padrão	4,39	6,23	0,03	1,96
	<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>9,80</b>	<b>7,56</b>	<b>4,76</b>	<b>3,85</b>
<b>12</b>	Mínimo	40,65	0,49	45,50	
	<b>Média</b>	<b>44,69</b>	<b>0,55</b>	<b>52,36</b>	
	Máximo	47,89	0,61	58,20	
	Desvio padrão	1,95	3,32	0,04	3,54
	<b>Coefficiente de variação (%)</b>	<b>4,35</b>	<b>4,02</b>	<b>6,83</b>	<b>6,76</b>

Os valores médios obtidos para a fração da parede são inferiores a 60% recomendado por Foelkel (1978) como valor máximo adequado para a produção de celulose e papel, pois valores acima deste percentual indicam que as fibras são extremamente rígidas, pouco flexíveis e apresentam dificuldades nas interligações entre as mesmas e consequentemente afetam as propriedades físico-mecânicas e ópticas do papel.

Segundo Boschetti et al. (2015) o coeficiente de flexibilidade e o índice de Runkel são indicativos da flexibilidade da fibra e da sua capacidade de realizar ligações na rede fibrosa. Para o coeficiente de flexibilidade, foi obtido para a madeira de *Populus deltoides* os valores médios de 82,67, 82,40 e 82,74% para as idades de 8, 10 e 12 anos, respectivamente. Já para o índice de Runkel, os valores médios de 0,54 e 0,55 obtidos enquadram-se no grupo III (0,5 – 1,0) de acordo com a classificação proposta por Runkel (1952), indicando que as fibras são de boa qualidade para a produção de papel.

Quanto ao índice de enfiamento, o mesmo está relacionado ao rasgo do papel, consequentemente quanto maior seu valor maior será a resistência das fibras quando submetidas a este esforço (VIVIAN et al., 2020). Para este índice os valores médios obtidos nas três idades em estudo foram de 49,15, 50,97 e 52,36, respectivamente.

Para fins de comparação, a Tabela 4 apresenta valores médios das dimensões das fibras e dos índices qualitativos das fibras referentes à espécie em estudo em comparação com essências florestais amplamente cultivadas no país e utilizadas como matéria-prima para a produção de celulose e papel.

TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DAS DIMENSÕES DAS FIBRAS E DOS ÍNDICES INDICATIVOS DA QUALIDADE DAS FIBRAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS.

Fonte	Espécie	Fibras				FP (%)	CF (%)	IR	IE
		DI (µm)	C (µm)	Ep (µm)	L (µm)				
Este estudo	<i>Populus deltoides</i> <sup>1</sup>	14,69	928,76	4,10	18,84	44,32	82,60	0,55	50,83
González et al. (2014)	<i>Eucalyptus urograndis</i> <sup>2</sup>	5,59	900,00	5,61	16,91	63,62	36,37	1,74	-
Boschetti et al. (2015)	<i>Eucalyptus grandis</i> x <i>Eucalyptus urophylla</i> <sup>3</sup>	10,50	1033,00	4,60	19,9	47,60	52,30	1	-
Vivian et al. (2015)	<i>Pinus taeda</i> <sup>4</sup>	27,73	3500,00	6,41	40,55	32,00	68,00	0,46	86,00
	<i>Pinus sylvestris</i> <sup>5</sup>	28,15	3100,00	7,59	43,73	36,00	64,00	0,55	71,00
	<i>Eucalyptus benthami</i> <sup>2</sup>	-	903,00	3,40	16,00	42,61	57,00	0,77	57,39
Baldin et al. (2017)	<i>Eucalyptus dunnii</i> <sup>2</sup>	-	982,00	4,30	17,00	51,53	50,00	1,07	58,96
	<i>Eucalyptus grandis</i> <sup>2</sup>	-	1036,00	3,80	18,00	41,99	58,00	0,76	58,00
	<i>Eucalyptus saligna</i> <sup>2</sup>	-	1078,00	3,20	15,70	41,11	59,00	0,72	68,96
Modes et al. (2019)	<i>Pinus patula</i> <sup>6</sup>	29,09	2370,00	5,49	40,32	27,92	72,08	0,43	-

LEGENDA: DI – diâmetro do lúmen; C – comprimento; Ep – espessura da parede; ; L – largura; EPC – espessura da parede celular; FP – fração da parede; CF – coeficiente de flexibilidade; IR – índice de Runkel; IE – índice de enfiamento; <sup>1</sup> - valores médios correspondentes as idades 8, 10 e 12 anos; <sup>2</sup> - valores médios correspondentes a idade de 5 anos; <sup>3</sup> - valores médios correspondentes a idade de 6 anos; <sup>4</sup> – valores médios correspondentes a idade de 21 anos; <sup>5</sup> - valores médios correspondentes a idade de 45 anos; <sup>6</sup> - valores médios correspondentes a idade de 14 anos;

Como esperado, as dimensões das fibras da madeira de *Populus deltoides* foram próximas as dimensões relatadas para espécies do gênero *Eucalyptus* consideradas como madeiras de fibras curtas, e inferiores a espécies do gênero *Pinus*, denominadas como madeiras de fibras longas. Quanto aos índices qualitativos, destaca-se o valor superior do coeficiente de flexibilidade obtido para a espécie em estudo em relação as demais essências florestais apresentadas na Tabela 4, indicando que o papel produzido com estas fibras apresentará maior resistência à tração e ao estouro (GONÇALEZ et al., 2014; VIVIAN et al., 2020).

As frações de parede constatadas para as fibras e apresentadas na Tabela 3, caracterizam-nas como fibras de paredes delgadas. Tal característica, juntamente a presença de vasos médios de paredes delgadas e suas respectivas frequências (TABELA 2), indicam que se

trata de madeiras com baixa densidade e baixo teor de lignina. Do ponto de vista energético, mais especificamente a produção de carvão vegetal, tais características não são desejáveis pois apresentam pouca biomassa para sustentar uma combustão duradoura, sendo considerado bom para tal uso um percentual de fração de parede em torno de 60% (PAULA, 2005).

Já para produtos sólidos, a característica de grã reta indica facilidade de trabalhabilidade da madeira em estudo nos processos de secagem, desdobro e acabamento superficial, porém no quesito decorativo as superfícies tangenciais e radiais desta madeira se apresentaram regular e sem figuras ornamentais especiais (NIGOSKI, 1999; GONÇALEZ et al., 2006).

Quanto ao processo de colagem, a presença de vasos médios com paredes delgadas, além da frequência constatada para as madeiras de *Populus deltoides*, proporcionaram uma maior penetração da resina na madeira, a qual por ser dificultada pela presença de tilo nos poros identificada para a espécie em estudo (MARRA, 1992).

### 3.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Os valores médios e estatísticos das propriedades químicas de extrativos solúveis em água fria, água quente, NaOH e etanol-tolueno, lignina insolúvel, pH, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo, obtidos para a madeira de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos são apresentados na Tabela 5. Com exceção do teor de carbono fixo, para as demais propriedades foi constatado aumento dos valores médios com o avanço da idade.

O aumento dos teores de extrativos em função da idade, solúveis em água e/ou solvente orgânico, pode ser atribuído ao processo de cernificação da madeira (COSTA et al., 2012; SOARES et al., 2015; FONTE et al., 2017). Já o decréscimo do teor de carbono fixo observado para as idades estudadas, está atrelado ao aumento do teor de cinzas e materiais voláteis na madeira (OLIVEIRA et al., 2010; BRAND et al., 2013; CHAVES et al., 2013; VALE, MOREIRA E MARTINS, 2017; BRUN et al., 2018).

TABELA 5 – PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* AOS 8, 10 E 12 ANOS DE IDADE.

Idade (anos)	Extrativos				Lignina insolúvel (%)	pH	Química imediata			
	Água fria (%)	Água quente (%)	NaOH (%)	Etanol-tolueno (%)			Cinzas (%)	Materiais voláteis (%)	Carbono fixo (%)	
<b>8</b>	Mínimo	1,50	1,55	15,44	0,98	27,50	5,75	0,77	82,86	15,77
	Média	<b>1,63</b>	<b>1,87</b>	<b>15,35</b>	<b>1,24</b>	<b>27,80</b>	<b>5,88</b>	<b>0,87</b>	<b>83,13</b>	<b>16,13</b>
	Máximo	1,81	2,10	15,35	1,5	28,19	5,98	0,97	83,46	16,67
	Desvio padrão	0,16	0,29	0,17	0,26	0,36	0,12	0,14	0,30	0,48
	Coefficiente de variação (%)	9,87	15,34	1,13	20,97	1,28	2,58	16,26	0,37	2,95
<b>10</b>	Mínimo	1,55	1,87	15,20	1,00	27,78	5,93	1,08	79,39	12,99
	Média	<b>1,69</b>	<b>2,19</b>	<b>15,44</b>	<b>1,33</b>	<b>28,26</b>	<b>6,04</b>	<b>1,24</b>	<b>84,49</b>	<b>13,05</b>
	Máximo	1,79	2,39	15,63	1,62	28,52	6,14	1,5	88,15	13,11
	Desvio padrão	0,12	0,28	0,22	0,31	0,41	0,11	0,23	4,56	0,08
	Coefficiente de variação (%)	7,39	12,87	1,43	23,47	1,46	1,74	18,55	5,39	0,65
<b>12</b>	Mínimo	1,92	2,37	15,23	1,74	29,71	6,19	1,63	84,50	12,85
	Média	<b>2,03</b>	<b>2,46</b>	<b>15,51</b>	<b>1,77</b>	<b>30,02</b>	<b>6,26</b>	<b>1,70</b>	<b>85,86</b>	<b>13,28</b>
	Máximo	2,21	2,56	15,75	1,79	30,35	6,32	1,79	87,59	13,71
	Desvio padrão	0,16	0,10	0,26	0,03	0,32	0,07	0,08	1,58	0,61
	Coefficiente de variação (%)	7,74	3,86	1,69	1,63	1,07	1,26	4,91	1,84	4,58

FONTE: A autora (2020).

Os resultados obtidos neste estudo para extrativos em etanol-tolueno, lignina insolúvel e cinzas estão de acordo com os relatados por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003) e Jin e Kamdem (2009) ao estudarem madeiras do gênero *Populus*. Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003) obtiveram para as madeiras de clones de *Populus deltoides* com 4 anos de idade os teores de 22,20% de lignina insolúvel e 2,20% de extrativos em etanol-tolueno. Já Jin e Kamdem (2009) encontraram os teores de 22,55% de lignina insolúvel, 4,00% de extrativos em etanol-tolueno e 0,69% de cinzas para a madeira do híbrido *Populus deltoides* x *Populus nigra* var. *Caudina*.

Cobas (2012) descreveu resultados compatíveis aos obtidos neste estudo para extrativos em água quente, extrativos em etanol-tolueno e lignina insolúvel, ao estudar a madeira de *Populus deltoides* clone “Austrália 129-60” com 17 anos de idade. A autora obteve valores médios de 1,78% de extrativos em água quente, 2,12% de extrativos em etanol-tolueno e 25,62% de lignina (insolúvel e solúvel) para a faixa etária de 5 a 10 anos e, 2,24% de extrativos em água quente, 2,07% de extrativos em etanol-tolueno e 25,84% de lignina (insolúvel e solúvel) correspondente à faixa etária de 10 a 15 anos.

Os teores de extrativos solúveis em água fria, em água quente, em NaOH e em etanol-tolueno, como também os resultados obtidos para lignina insolúvel, cinzas e pH obtidos para as madeiras de *Populus deltoides* nas três idades em estudo, são próximos aos apresentados por Lau (2017) para a madeira de *Populus deltoides* na idade de 11 anos. A autora obteve média de 2,62% de extrativos em água fria, 3,39% de extrativos em água quente, 17,74% de extrativos em NaOH, 2,45% de extrativos em etanol-tolueno, 27,01% de lignina insolúvel, 0,98% de cinzas e 6,72 de pH.

Ao se comparar os valores obtidos para extrativos em etanol-tolueno e lignina insolúvel para as madeiras de *Populus deltoides* nas idades estudadas às faixas de teores de 0,91-2,31% de extrativos e 28,0-32,0% de lignina relatados por Caux, Dalvi e Justino (2015) para 8 clones de eucalipto usados para produção de celulose, têm-se valores próximos.

Ao avaliarem as madeiras de nove espécies pertencentes ao gênero *Eucalyptus* com idade entre 18 e 22 anos e intuito a produção de carvão vegetal, Juizo, Lima e Silva (2017) obtiveram valores variando de 0,35% a 0,58% de teor de cinzas, 80,76% a 85,19% de teor de materiais voláteis e 14,47% à 18,89% de teor de carbono fixo. Quanto ao teor de lignina da madeira para tal uso, Soares et al. (2015) relataram o valor médio de 21,97% para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* aos 7 anos de idade, enquanto Neves et al. (2011) encontraram 29,75% de teor de lignina ao analisarem as madeiras de clones de *Eucalyptus* com aproximadamente 5 anos e meio. Os valores da análise química imediata juntamente ao teor de

lignina obtidos para as madeiras de *Populus deltoides* com 8, 10 e 12 anos mostraram-se próximos aos descritos por Juizo, Lima e Silva (2017), Soares et al. (2015) e Neves et al. (2011).

Em relação a produção de painéis, os valores de 3,14% de extrativos totais e 4,56 de pH obtidos por Iwakiri et al. (2017) para partículas industriais de *Pinus* spp., são próximos aos valores médios encontrados para as madeiras de *Populus deltoides*, demonstrando o potencial da espécie em estudo como matéria-prima para a produção de painéis particulados.

#### 4 CONCLUSÕES

As principais características anatômicas constatadas para a madeira de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos foram grã reta, presença de tilo nos vasos, raios homogêneos unisseriados, parênquima axial ausente ou extremamente raro e aumento das dimensões dos elementos de vaso, raios e fibras com o avanço da idade.

Para a composição química, os teores de extrativos, lignina insolúvel, pH, cinzas e materiais voláteis apresentaram tendência de crescimento em função do aumento da idade, enquanto que para o teor de carbono fixo ocorreu o inverso.

Para a produção de papel e celulose, os índices qualitativos foram próximos entre as idades estudadas, concluindo que as fibras da madeira de *Populus deltoides* são consideradas de boa qualidade e que o papel produzido apresentará maior resistência quando submetidos aos ensaios de tração e estouro devido ao alto coeficiente de flexibilidade obtidos para as fibras. Do ponto de vista químico, a espécie em estudo apresentou teores de extrativos em etanol-tolueno e lignina insolúvel próximos a espécies do gênero *Eucalyptus* tradicionalmente utilizadas para este fim.

Para a produção de carvão vegetal, a madeira de *Populus deltoides* apresentou propriedades químicas similares a espécies do gênero *Eucalyptus*, porém pelas suas características anatômicas relacionadas as fibras e aos elementos de vaso, não se recomenda o uso desta espécie para tal uso em termos econômicos e de rendimento energético.

Para a confecção de produtos sólidos de madeira, a espécie em estudo é de fácil trabalhabilidade devido a sua característica de grã reta. Já para a produção de painéis, as características relacionadas aos elementos de vaso indicam facilidade de colagem desta madeira e, juntamente aos teores de extrativos e pH constatados levam a recomendação do uso da madeira de *Populus deltoides* nas três idades estudadas para tal uso.

## 5 REFERÊNCIAS

- ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Influência das características anatômicas e do teor de extrativos totais da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden na qualidade da colagem. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 803-811, 2012. DOI: 10.5902/198050987561.
- 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**, v. 21, n. 1, p. 167-174, 2011.
- ANGYALOSSY, V.; AMANO, E.; ALVES, E. S. Madeiras utilizadas na fabricação de arcos para instrumentos de corda: aspectos anatômicos. **Acta botanica brasílica**, v. 19, n. 4, p. 819-834, 2005. DOI: 10.1590/S0102-33062005000400018.
- ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies *Acacia crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides***. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia da Madeira) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM E 872-82**: Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels. West Conshohocken, 2019. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 5 p.
- BALDIN, T.; MARCHIORI, J. N. C.; NIGOSKI, S.; TALGATTI, M.; DENARDI, L. Anatomia da madeira e potencial de produção de celulose e papel de quatro espécies jovens de *Eucalyptus* L'Hér. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 114-126, 2017. DOI: 0.12953/2177-6830/rcm.v8n2p114-126.
- BOSCHETTI, W. T.N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000600004
- BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; BREHMER, D. R.; KÜSTER, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar, em Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.
- BRUN, E. J.; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; DORINI JUNIOR, J. R. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 87-92, 2018. DOI: 10.5380/ufv.v48i1.51673.
- CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Árvore**, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000200019.

CAUX, L. S.; DALVI, L. C.; JUSTINO, C. C. Nova visão quantitativa e qualitativa da madeira para o processo de produção de polpa branqueada de eucalipto. IN: 48th International Pulp and Paper Congress & 1st Ibero-American Conference on the Bio-Economy, October, 6-8, p. 1-7, 2015, Sao Paulo, Brazil.

CHAGAS, S. F.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades da madeira de teca de diferentes idades e oriundas de desbaste. **Ciência da madeira**, v. 5, n. 2, p. 138-150, 2014. DOI: 10.12953/2177-6830.v05n02a08.

CHAVES, A. M. B. C.; VALE, A. T.; MELIDO, R. C. N.; ZOCH, V. P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

COBAS, A. C. “**Modelos de variación de propiedades del leño juvenil a maduro en Salicáceas y su influencia sobre pulpas quimimécánicas**”. 213 f. Universidad Nacional de La Plata - Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, La Plata, 2012.

CORADIN, V. T. R.; G. B. MUNIZ. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I. Angiosperma; II. Gimnospermae**. Brasília: IBAMA, DIRPED, Laboratório de Produtos Florestais, 1991. 19 p.

COSTA, C. G.; CALLADO, C. H.; CARADIN, V. T. R.; CARMELLO-GUEREIRO, S. M. Xilema. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. **Anatomia Vegetal**. 3<sup>rd</sup> ed. Viçosa: UFV, 2012. p. 123-146.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D.; LOBO, L. M.; SOUZA, M. O. A. Propriedades físico-mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, v. 01, n. 02, p. 1-19, 2010.

FOELKEL, C.E.B. Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo IPEF**, v.6, p.72-87, 1978.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japônica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017. DOI: 10.5965/223811711632017277.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Ed. Centenária. Madison: USDA, 2010. p. 10-1; 10-24.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Árvore**, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GONÇALEZ, J. C.; BREDÁ, L. C.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas das madeiras de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden e *Eucalyptus cloeziana* F. Muell visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 329-341, 2006. DOI: 10.5902/198050981912.

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; SILVA JUNIOR, F. G.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; ASSIS, C. O.; ASSIS, M. R.; COLODETTE, J. L.; GOMES, C. M. Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, p. 71-78, 2015. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p71-78.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS (IAWA). List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, Leuven, v. 10, n. 3, p. 219-332, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Identificação macroscópica de madeiras: Chave de identificação de madeiras comerciais**. Educação Continuada, 2007. 28 p.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CHIES, D.; TAVARES, E. L.; FRANÇA, M. C.; LAU, P. C.; IWAKIRI, V. T. Use of residues of forestry exploration of *Pinus taeda* for particleboard manufacture. **Árvore**, v. 41, n. 3, p. 1-8, 2017.

JIN, X. J.; KAMDEM, D. P. Chemical composition, crystallinity and crystallite cellulose size in *Populus* hybrids and aspen. **Cellulose Chemical Technology**, v. 43, n. 7-8, p. 229-234, 2009.

JUIZO, C. G. F.; LIMA, M. R.; SILVA, D. A. Qualidade da casca e da madeira de nove espécies de Eucalipto para produção de carvão vegetal. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 386-390, 2017. DOI: 10.5039/agraria.v12i3a5461.

KLASNJA, B.; KOPITOVIC, S.; ORLOVIC, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 331-337, 2003. DOI: 10.1007/s00226-003-0179-3.

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

LAU, P. C. **Produção de painéis de colagem lateral – EGP com madeira de *Populus deltoides***. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 700 p.

MARTINEZ, M. G. **Caracterización anatómicadelas maderas de *Populus deltoides* Marshall ("Alamillo"), *Jacaranda mimosifolia* D.Don ("Jacaranda") y *Delonix regia* (Bojer) Raf. ("Tabachín Rojo")**. 81 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrônômica) – Divisão de Ciências Agrônômicas, Universidad de Guadalajara, Zapopan, 1996.

MEDINA, A. A.; BAUCIS, A. G.; CATALÁN, M. A.; ANDÍAL, I. R.; TRANGONIL, F.; RAZQUIN, M.; PAMPIGLIONIL, A.; VUILLERMETL, A. Características y propiedades

físicas de la madera de álamos cultivados en Río Negro, Patagonia Argentina. **Madera y Bosques**, v. 24, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI: 10.21829/myb.2018.2411434.

MILANEZ, A. C.; FOELKEL, C. E. B. Processos de deslignificação com oxigênio para a produção de celulose de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 14., 1981, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1981. p. 37 - 110.

MODES, K. S.; LUDWIG, R. L.; VIVIAN, M. A.; STOLBER, J. Wood quality of *Pinus patula* Schltl & Cham for the pulp production. **Árvore**, v. 43, n. 2, p. 1-9, 2019. DOI: - 0.1590/1806-90882019000200007.

MORI, C. L. S. O.; BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SCOLFORO, J. R.; GOMES JR., F. Influência da idade e altitude nas características anatômicas, químicas e de densidade básica da madeira de candeia - *Eremanthus erythropappus*. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 825-836, 2010. DOI: 10.5380/ufv.40i4.20334.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319-330, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.68.319.

NIGOSKI, S. **Identificação e caracterização anatômica macroscópica das principais espécies utilizadas para laminação na região de Curitiba - PR**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 431-439, 2010.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 90-100, 2005.

PESZLEN, I. Influence of age on selecten anatomical properties of populus clones. **IAWA Journal**, v. 15, n. 3, p. 311-321, 1994.

RUNKEL, R.O.H. Pulp from tropical wood. **TAAP**, v.35, n. 4, p.174-178, 1952.

SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v.36, n.6, p. 1183-1190, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000600019.

SILVA, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Árvore**, v.31, n.6, p. 1081-1090, 2007. DOI: 10.1590/S0100-67622007000600013.

SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.

(Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta botanica brasílica**, v. 25, n. 2, p. 301-314, 2011.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015. DOI: 10.1590/01047760201521021294.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 204 cm-97**: solvent extractives of wood and pulp. Atlanta, 1997. 4 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 207 cm-99**: water solubility of wood and pulp. Atlanta, 1999. 3 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 211 om-02**: ash in wood, pulp, paper and paperboard - combustion at 525 °C. Atlanta, 2002. 5 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 212 om-02**: one percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta, 2002. 4 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 222 om-02**: acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 2002. 5 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 252 om-02**: pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2002. 6 p.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 257 cm-02**: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta, 2002. 5 p.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 343 – 350, 2011.

TRIANOSKI, R.; PICCARDI, A. B. R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na produção de painéis aglomerados de *Pinus*. **Floresta**, v.46, n. 2, p. 259-267, abr./jun. 2016.

VALE, A. T.; MOREIRA, A. C. O.; MARTINS, I. S. Avaliação do potencial energético de *Bambusa vulgaris* em função da idade. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.123314.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Árvore**, v. 36, n. 2, p. 365-371, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000200018.

VIVIAN, M. A.; SEGURA, T. E. S.; BONFATTI JÚNIOR, E. A.; SARTO, C.; SCHMIDT, F.; SILVA JÚNIOR, F. G.; GABOV, K.; FARDIM, P. Qualidade das madeiras de *Pinus*

*taeda e Pinus sylvestris* para a produção de polpa celulósica kraft. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 183-191, 2015.

VIVIAN, M. A.; CORRÊA, R.; MODES, K. S.; CAETANO, A. P.; PEDRAZZI, C.; DOBNER JUNIOR, M. Caracterização tecnológica da madeira de *Cupressus lusitanica* visando à produção de polpa celulósica. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 40 p. 1-9, 2020. DOI: 10.4336/2020.pfb.40e201901894.

## CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DA MADEIRA DE *Populus deltoides*

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi determinar as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Populus deltoides* com 8, 10 e 12 anos de idade e indicar seus possíveis usos. Para atender tal objetivo, foram colhidas três árvores por idade, cortadas a 0,1 m do solo, desganhadas e seccionadas em 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Em cada altura de corte, foi retirado um disco de 5 cm de espessura destinado a determinação das propriedades físicas e, para a caracterização mecânica, foi utilizada a tora obtida entre 25 e 50% da altura comercial das nove árvores selecionadas. As propriedades físicas e mecânicas foram determinadas seguindo as recomendações das normas NBR 11941 (2003) e NBR 7190 (1997). Verificou-se que os valores médios obtidos para a densidade básica, densidade aparente e contração volumétrica, apresentaram uma tendência de crescimento em função do aumento da idade. Quanto à altura de amostragem, constatou-se contração volumétrica superior na base em relação as demais alturas. Para as propriedades mecânicas, de modo geral, a resistência e a rigidez apresentaram acréscimo em seus valores à medida que a idade aumentou. Correlações significativas foram obtidas entre a densidade aparente e a maior parte das propriedades mecânicas analisadas. As madeiras de *Populus deltoides* aos 8, 10 e 12 anos de idade, se caracterizam como de baixa densidade e muito instáveis, pertencentes a classe de resistência C20, indicada para fins estruturais e não estruturais.

Palavras-chave: álamo; idade; densidade; resistência; rigidez.

## PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF WOOD OF *Populus deltoides*

**Abstract:** The aim of this study was to determine the physical and mechanical properties of *Populus deltoides* wood aged 8, 10 and 12 years old and to indicate their possible uses. To meet this objective, three trees were harvested by age, cut at 0.1 m from the ground, delimbed and sectioned at 25, 50, 75 and 100% of the commercial height. At each cutting height, a 5 cm thick disc was removed to determine the physical properties and, for mechanical characterization, the log obtained between 25 and 50% of the commercial height of the nine selected trees was used. The physical and mechanical properties were determined following the recommendations of the NBR 11941 (2003) and NBR 7190 (1997) standards. It was found that the average values obtained for basic density, apparent density and volumetric contraction, showed a growth trend due to the increase in age. As for the sampling height, a higher volumetric contraction was found in the base in relation to the other heights. For mechanical properties, in general, strength and stiffness showed an increase in their values as age increased. Significant correlations were obtained between apparent density and most of the mechanical properties analyzed. *Populus deltoides* woods at 8, 10 and 12 years old, are characterized as low density and very unstable, belonging to resistance class C20, indicated for structural and non-structural purposes.

Keywords: poplar; age; density; strength; stiffness.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira é de extrema importância, pois embasam a definição do seu uso adequado e eficiente na indústria madeireira (LUCAS FILHO, 1997; MOREIRA, 1999; KLOCK, 2000).

Pelo fato da madeira ser um material anisotrópico, faz-se necessário o conhecimento da variação das propriedades físicas e mecânicas em relação aos diferentes planos anatômicos, axial, radial e tangencial, além da influência entre as propriedades (TSOUMIS, 1991; MARRA, 1992; WALKER, 1993; KRETSCHMANN, 2010).

As propriedades mecânicas da madeira são afetadas pela densidade, teor de umidade, presença de nós, inclinação da grã, orientação do anel de crescimento, presença de madeira de reação, porcentagem de lenho juvenil, fatores genéticos das árvores, condições ambientais do local, práticas silviculturais, além da variação entre a mesma espécie, posição do fuste, idade, entre outros (WANG et al., 2005; KRETSCHMANN, 2010).

A densidade influencia diretamente a resistência da madeira, de forma que quanto maior a densidade, maior será a resistência obtida. Isto se deve ao fato da densidade referir-se à quantidade de substâncias da parede celular por unidade de volume. Destaca-se que a relação entre estas propriedades é afetada pelos fatores que exercem influência sob a densidade da madeira, como por exemplo, o conteúdo de extrativos, madeira de reação, proporção de lenho tardio, entre outros (FENGEL; WEGENER, 1989; BURGER; RICHTER, 1991; TSOUMIS, 1991; MARRA, 1992).

De acordo com pesquisas já realizadas (TRUGILHO et al., 1996; SETTE JR et al., 2012; CARNEIRO et al., 2014; NONES et al., 2015; SOARES et al., 2015), a densidade da madeira tende a aumentar com o aumento da idade da árvore até quando esta atinge maturidade, tornando-se constante posteriormente. Segundo Sette Jr et al. (2012), isto ocorre em função do aumento da espessura da parede das fibras e redução do número de vasos, à medida que é formado o lenho adulto.

No Brasil, estudos realizados com as madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 11 e 12 anos relataram que se trata de madeiras de baixa densidade e de baixa resistência mecânica, podendo ser empregada para a produção de painéis, palitos, embalagens, etc (JAVARINI, 2011; LAU, 2017). Na Argentina, Filippetti et al. (2017) analisaram o uso estrutural das madeiras de clones de *Populus deltoides* 'Australian 129/60' e 'Stoneville 67' com 13 e 16 anos de idade através da densidade e do ensaio de flexão estática e concluíram que ambos os clones podem ser utilizados para tal fim. No Canadá, Huda et al. (2018)

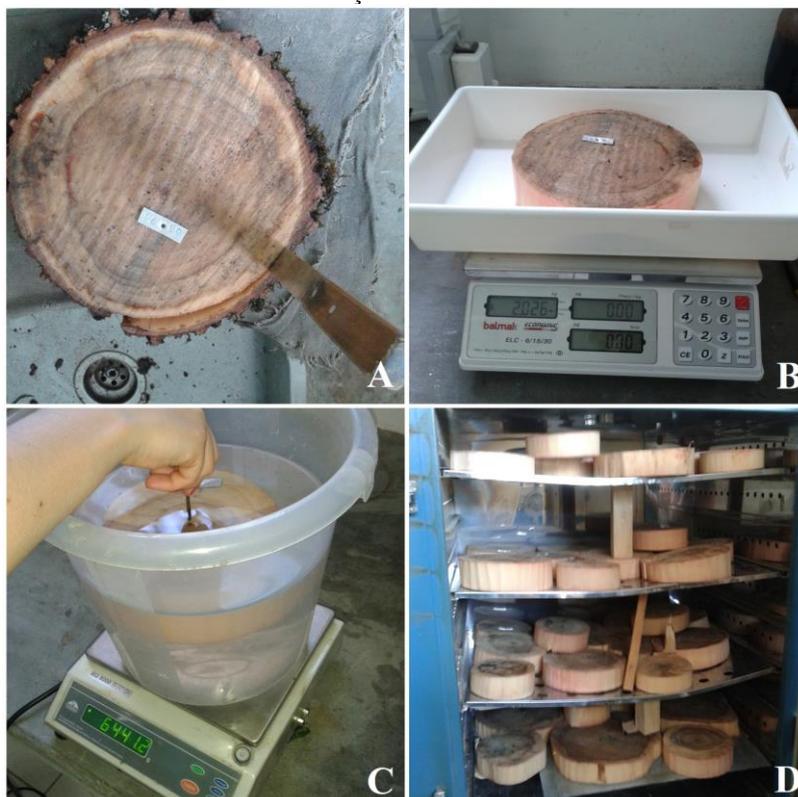
objetivaram compreender as correlações fenotípicas e genotípicas entre as propriedades físicas e mecânicas da madeira de sete clones híbridos de *Populus* e concluíram que há uma variação considerável nas propriedades da madeira dentro das árvores e entre os clones, que podem embasar a seleção de clones para utilização em diferentes aplicações.

Neste estudo, o objetivo foi determinar as propriedades físicas e mecânicas das madeiras *Populus deltoides* com 8, 10 e 12 anos de idade cultivadas na região Sul do país e indicar seus possíveis usos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

De posse dos discos obtidos nas alturas da base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para as árvores de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos, conforme descrito no item 3 MATERIAL e exemplificado na Figura 2 (pgs. 4-7), determinaram-se as propriedades físicas como densidade básica, densidade aparente e contração volumétrica, conforme recomendado pelas normas NBR 11941 (ABNT, 2003) e NBR 7190 (ABNT, 1997) (FIGURA 21).

FIGURA 21 – DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS.



FONTE: A autora (2017).

LEGENDA: A – retirada da casca do disco; B – pesagem do disco em balança analítica de precisão; C – determinação do volume do disco; D – secagem dos discos em estufa com ventilação forçada.

As toras obtidas entre 25 e 50% da altura comercial das nove árvores selecionadas (ver item 3 MATERIAL e FIGURA 2, pgs. 4-7), foram desdobradas em pranchões com espessura de 7,62 cm, com comprimentos e larguras variáveis, os quais posteriormente foram secos de forma natural até atingirem teor de umidade de equilíbrio com o ambiente, correspondente a 15% para a região de Irati- PR, local em que foram realizados os ensaios para caracterização físico-mecânica da espécie (FIGURA 22).

FIGURA 22 – DESDOBRO DAS TORAS E SECAGEM DOS PRANCHÕES.

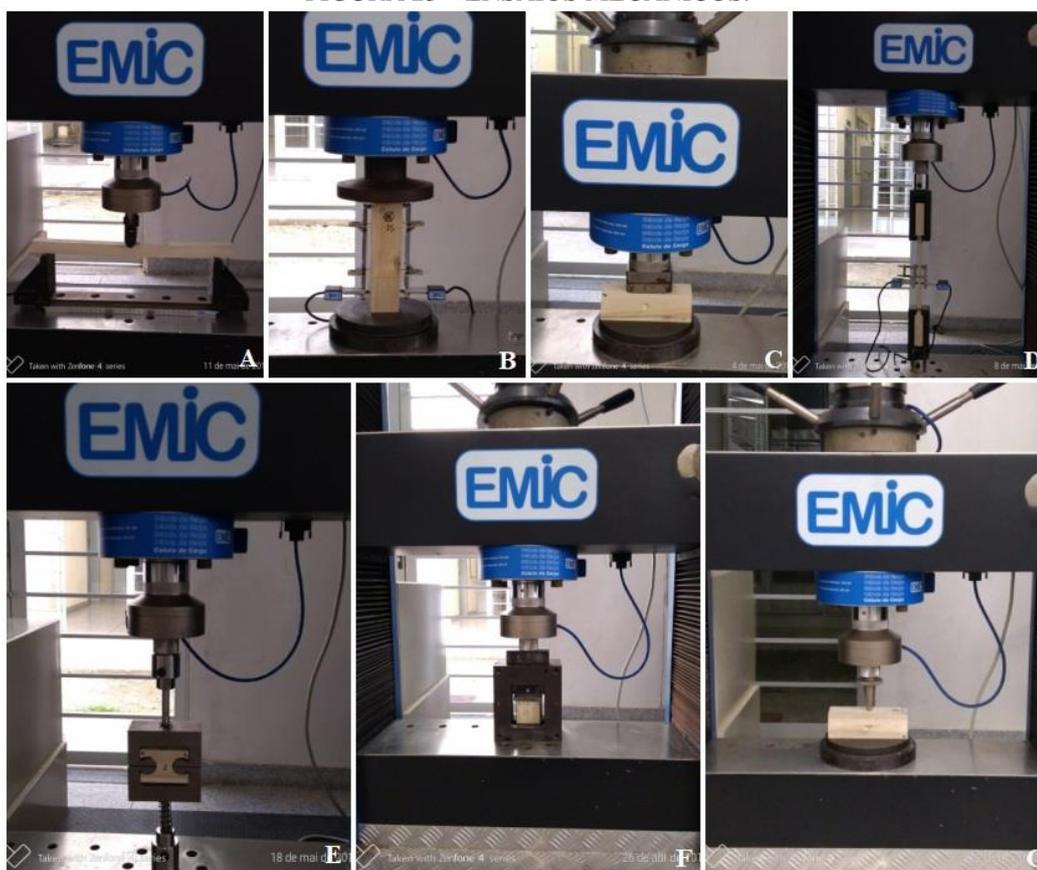


FONTE: A autora (2017).

LEGENDA: A – desdobro da tora em serra fita; B – retirada das costaneiras dos pranchões em serra circular; C – secagem dos pranchões.

Ao término do período de secagem e, seguindo as recomendações da norma NBR 7190 (ABNT, 1997), os pranchões foram encaminhados para confecção dos corpos de prova para realização dos ensaios mecânicos de flexão estática, compressão paralela às fibras, compressão normal às fibras, tração paralela às fibras, tração normal às fibras, cisalhamento e dureza Janka (FIGURA 23). Para cada ensaio mecânico foram confeccionados no mínimo 12 corpos de prova por idade estudada, isentos de defeitos, conforme recomendado pela referida norma para espécies pouco conhecidas. Para todos os corpos de prova, foram determinadas a densidade aparente e o teor de umidade. Os valores obtidos para cada ensaio mecânico foram corrigidos para o teor de umidade de 12%, além de se realizar o cálculo dos valores característicos conforme especificado pela norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Destaca-se que as dimensões do corpo de prova de flexão estática foram adaptadas para 40 cm x 2,5 cm x 2,5 cm correspondente a comprimento, largura e espessura, respectivamente, devido ao tamanho superior do corpo de prova exigido pela referida norma (115 cm x 5 cm x 5 cm) e a disponibilidade de material para a confecção dos mesmos. Para a execução do ensaio adotou-se como vão livre 14 vezes a espessura, ajustado para cada corpo de prova ensaiado.

FIGURA 23 – ENSAIOS MECÂNICOS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – ensaio de flexão estática; B – ensaio de compressão paralela às fibras; C - ensaio de compressão normal às fibras; D - ensaio de tração paralela às fibras; E - ensaio de tração normal às fibras; F - ensaio de cisalhamento; G - ensaio de dureza Janka.

Os valores obtidos para as propriedades físicas foram submetidos a comparação por meio de um delineamento inteiramente casualizado em arranjo fatorial (3x5) para verificar a influência dos fatores idade (8, 10 e 12 anos) e altura (base, 25, 50, 75 e 100%). Assim, os tratamentos foram gerados em função das combinações entre idade e altura, com 15 repetições. Quanto as propriedades mecânicas, a comparação dos valores obtidos foi realizada por meio de um delineamento inteiramente casualizado considerando-se como tratamentos as idades de 8, 10 e 12 anos com 12 repetições. Dessa maneira, os valores obtidos para as propriedades físico-mecânicas foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: teste de *Kolmogorov Smirnov* para analisar a normalidade dos dados; teste de *Levene* para analisar a homogeneidade das variâncias; comprovada a normalidade e a homogeneidade das variâncias, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA); havendo rejeição da hipótese de igualdade pela ANOVA, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para os valores de densidade aparente obtidos para cada corpo de prova destinado aos ensaios mecânicos, foi determinada a correlação de Pearson dessa propriedade com as propriedades mecânicas para verificar sua influência sobre a resistência e a rigidez da madeira.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 são apresentados os valores médios de densidade básica, densidade aparente à 12% de teor de umidade e contração volumétrica para os fatores idade e altura. Foi constatada diferença estatística significativa para as propriedades analisadas, observando-se uma tendência de aumento dos valores em função da idade da árvore. Para a densidade básica e densidade aparente, o fator altura não foi significativo, resultando em valores estatisticamente não significativos. Já para a propriedade contração volumétrica, foi constatada diferença estatística significativa, onde os maiores valores foram obtidos para a base. Para as propriedades físicas analisadas, não se constatou interação significativa entre os fatores.

TABELA 6 - PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* PARA OS FATORES IDADE E ALTURA.

Fator	Nível	Densidade básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade aparente à 12% TU (g.cm <sup>-3</sup> )	Contração volumétrica (%)
Idade (anos)	8	0,37 b (5,88)	0,39 b (6,05)	15,56 b (8,65)
	10	0,39 ab (3,65)	0,41 ab (2,43)	16,08 b (8,08)
	12	0,39 a (3,92)	0,42 a (3,47)	17,43 a (9,75)
Altura (%)	Base	0,39 a (4,16)	0,41 a (4,26)	18,01 a (8,46)
	25	0,38 a (4,63)	0,40 a (5,53)	17,02 ab (8,13)
	50	0,38 a (4,46)	0,40 a (4,81)	16,42 bc (3,85)
	75	0,38 a (3,92)	0,40 a (3,62)	15,82 c (5,86)
	100	0,39 a (6,48)	0,41 a (6,01)	14,52 d (8,35)
Interação	F1 x F2	0,98 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,98 <sup>ns</sup>

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: TU – teor de umidade; <sup>ns</sup> não significativo.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Os valores médios de densidade básica e densidade aparente à 12% de teor de umidade variaram entre 0,37 g.cm<sup>-3</sup> e 0,39 g.cm<sup>-3</sup> e 0,39 g.cm<sup>-3</sup> a 0,42 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente, para as diferentes idades estudadas. Tais valores são próximos a 0,38 g.cm<sup>-3</sup> de densidade básica relatado por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003) para as madeiras de clones de *Populus deltoides* com 4 anos de idade e 0,33 g.cm<sup>-3</sup> de densidade básica obtido por Lau (2017) para a madeira de *Populus deltoides* com 11 anos de idade, confirmando-se o estudo realizado por Lau (2017), em que classifica a madeira como de baixa densidade. Para densidade aparente à 12% de teor de umidade, Cortizo, Monteverde e Abbiati (2017)

obtiveram valores que variaram entre 0,38 g.cm<sup>-3</sup> e 0,47 g.cm<sup>-3</sup> para cinco clones de *Populus deltoides* com idades entre 13 a 15 anos, enquanto Filippetti et al. (2017) relataram o valor médio de 0,46 g.cm<sup>-3</sup> para clones de *Populus deltoides* 'Australian 129/60' e 'Stoneville 67' com 13 e 16 anos de idade.

O aumento da densidade básica em função da idade, também foi relatado para as madeiras de *Eucalyptus grandis* com idade de 2, 4 e 6 anos (SETTE JR et al., 2012); *Toona ciliata* com idade de 6, 12 e 18 anos (BRAZ et al., 2013); *Pinus elliottii* com idade de 9 e 14 anos (MELO et al., 2013); e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com idade de 3, 5 e 7 anos (SOARES et al., 2015). Segundo Corrêa e Bellote (2011) a variação desta propriedade com o avanço da idade está atrelada ao aumento da espessura da parede celular, fato este constatado pelos valores médios apresentados na Tabela 2 no Capítulo 1 referente as dimensões dos elementos anatômicos.

Na Tabela 6, observa-se que a densidade básica e a densidade aparente à 12% de teor de umidade tenderam a ser estáveis ao longo do fuste, com maiores valores médios obtidos na base e em 100% da altura comercial do tronco. Comportamento semelhante foi relatado por Magalhães et al. (2020) para a madeira de três clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com 2 anos e 9 meses de idade. De acordo com Sette Jr et al. (2012), tal resultado está relacionado às exigências mecânicas de sustentação do tronco e da copa das árvores. Dias et al. (2017) complementam que na porção basal da árvore há maior proporção de lenho adulto, ocasionando maiores valores de densidade, além disso, há tendência de diminuição dessa proporção ao longo da altura, reduzindo, conseqüentemente, os valores de densidade. Segundo Ramos et al. (2011) o aumento da densidade atrelado ao lenho adulto ocorre pelo maior comprimento das fibras e menor ângulo microfibrilar da camada S2 da parede celular em relação ao lenho juvenil.

Em relação à contração volumétrica, os valores médios apresentados na Tabela 6 para o fator idade, são superiores quando comparados aos resultados encontrados por Javarini (2011) e Lau (2017) de 11,93% e 14,87% para as madeiras *Populus deltoides* com idades de 12 e 11 anos, respectivamente. Segundo a classificação proposta por Klitzke (2007) as madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos se classificam como muito instáveis, pois apresentam contração volumétrica acima de 15%, conseqüentemente são propensas ao aparecimento de defeitos durante o processo de secagem, como rachaduras e empenamentos, comprometendo a qualidade do uso desta espécie para a geração de produtos sólidos (TRIANOSKI et al., 2012; ALVES; OLIVEIRA; CARRASCO, 2017).

Quanto a variação longitudinal, observou-se que a contração volumétrica tendeu a redução dos valores com o aumento da altura de amostragem do fuste, comportamento este,

semelhante ao relatado por Benin, Watzlawick e Hillig (2017) para a madeira de *Eucalyptus benthamii* com 6 anos de idade. De acordo com Spear e Walker (2006), a variação obtida para os fatores idade e altura, está atrelada à quantidade de raios na direção radial e ao alinhamento das microfibrilas na direção axial.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para as propriedades mecânicas das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos. Com exceção do módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras, dureza Janka paralela às fibras, resistência e módulo de elasticidade em tração paralela às fibras, todas as demais propriedades analisadas foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre os valores médios correspondentes às três idades estudadas. De modo geral, os valores de resistência e rigidez da madeira de *Populus deltoides* aumentou com a idade. Este comportamento também foi verificado por Bendtsen e Senft (1986) ao determinarem as propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Populus deltoides* desde 1 ano até 26 anos de idade, cultivado nos Estados Unidos, afirmando que as propriedades melhoraram acentuadamente com a idade. Os autores também relataram que a árvore atingiu maturidade entre 17 e 18 anos.

TABELA 7 – RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS MECÂNICOS PARA A MADEIRA DE *Populus deltoides* COM IDADE DE 8, 10 E 12 ANOS.

Idade (anos)	$f_M$ (MPa)	$E_{M0}$ (MPa)	$f_{v0}$ (MPa)	$f_{c0}$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)	$f_{c90}$ (MPa)
8	56,90 b (8,67)	6642 b (10,76)	7,79 b (6,47)	29,75 a (8,88)	9055 a (11,13)	5,35 b (9,59)
10	60,15 b (5,69)	6968 b (7,74)	8,33 a (6,56)	29,38 a (6,44)	9923 a (12,19)	6,54 a (7,23)
12	64,54 a (6,82)	7729 a (7,58)	7,83 b (4,00)	25,98 b (8,41)	9563 a (17,83)	6,70 a (13,10)
<i>Kolmogorov Smirnov</i>	0,200	0,087	0,200	0,200	0,200	0,200
<b>Levene</b>	0,259	0,680	0,056	0,618	0,325	0,098
<b>Anova</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,375	0,000
Idade (anos)	$E_{c90}$ (MPa)	$f_{H0}$ (kN)	$f_{H90}$ (kN)	$f_{t0}$ (MPa)	$E_{t0}$ (MPa)	$f_{t90}$ (MPa)
8	248 b (10,56)	2,92 a (6,29)	1,50 b (13,00)	75,50 a (22,10)	9748 a (19,12)	2,55 ab (20,70)
10	301 ab (21,70)	3,01 a (6,58)	1,63 ab (8,66)	73,19 a (20,61)	9934 a (17,98)	2,07 b (16,40)
12	316 a (16,47)	2,95 a (10,20)	1,70 a (10,39)	81,97 a (24,40)	10879 a (14,85)	2,68 a (12,94)
<i>Kolmogorov Smirnov</i>	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
<b>Levene</b>	0,058	0,104	0,751	0,601	0,758	0,150
<b>Anova</b>	0,018	0,676	0,025	0,278	0,136	0,031

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA:  $f_M$  – módulo de ruptura em flexão estática;  $E_{M0}$  - módulo de elasticidade em flexão estática;  $f_{v0}$  - resistência ao cisalhamento;  $f_{c0}$  - resistência à compressão paralela às fibras;  $E_{c0}$  - módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras;  $f_{c90}$  - resistência à compressão normal às fibras;  $E_{c90}$  - módulo de elasticidade em compressão normal às fibras;  $f_{H0}$ , dureza Janka paralela às fibras;  $f_{H90}$ , dureza Janka normal às fibras;  $f_{t0}$  - resistência à tração paralela às fibras;  $E_{t0}$  - módulo de elasticidade em tração paralela às fibras;  $f_{t90}$  - resistência à tração normal às fibras.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna para cada propriedade, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Yu et al. (2008), para madeira de *Populus deltoides* na idade de 10 anos cultivada em dois locais distintos no Canadá, obtiveram valores médios de 60,1 e 4694 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática, respectivamente. Em relação a este estudo, os valores mencionados são semelhantes em resistência e inferiores em rigidez. Tais autores concluíram que as propriedades mecânicas da madeira podem variar consideravelmente com a idade cambial e o local de cultivo.

No Brasil, Javarini (2011) estudou a madeira de *Populus deltoides* na idade de 12 anos cultivada em União da Vitória no estado do Paraná, e apresentou valores próximos aos obtidos neste estudo. Os valores encontrados pelo autor para as propriedades de módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática foram de 50,48 e 7509 MPa, respectivamente. No que concerne a resistência à compressão paralela às fibras o valor obtido foi 22,94 MPa.

Estudando cinco clones de *Populus deltoides* entre as idades de 13 a 15 anos distribuídos entre 25,8 e 39,9 cm de DAP, cultivados na Argentina, Cortizo, Monteverde e Abbiati (2017) obtiveram valores distintos aos obtidos neste estudo para algumas propriedades. Os autores relataram valores médios que variaram entre 51,62 a 79,22 MPa e 5135 a 6808 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática, 32,67 a 37,95 MPa para resistência à compressão paralela às fibras, e 6,30 a 9,71 MPa de resistência à compressão normal às fibras.

De acordo com Panshin e De Zeeuw (1980), a resistência e rigidez da madeira está diretamente atribuída a sua densidade, e está por sua vez depende da espessura da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de extrativos presentes por unidade de volume. Observa-se na Tabela 2 e 5 do Capítulo 1 e na Tabela 6 apresentada neste capítulo, que o teor de extrativos e a densidade tenderam a aumentar com a idade em função do aumento da espessura da parede celular, da redução da largura das células e do processo de cernificação, conseqüentemente, obtêm-se aumento nos valores das propriedades mecânicas a medida que a idade aumenta, como mostra a Tabela 7 (SOARES et al., 2015; FONTE et al., 2017).

Na Tabela 8 são apresentados os valores do coeficiente de Pearson obtidos para as correlações das propriedades mecânicas em função da densidade aparente à 12% de teor de umidade para as madeiras de *Populus deltoides* em todas as idades analisadas. Verificou-se correlação significativa entre a densidade aparente e a maior parte das propriedades mecânicas quando as idades foram analisadas em conjunto. Para *Populus deltoides* na idade de 8 anos, obteve-se correlação significativa entre a densidade e a resistência à tração normal

às fibras; para 10 anos, com o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática e com a resistência à tração paralela às fibras; já para a idade de 12 anos, foi constatada correlação significativa com o módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática, resistência e módulo de elasticidade em compressão normal às fibras, dureza Janka normal às fibras, resistência e módulo de elasticidade em tração paralela às fibras.

TABELA 8 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A DENSIDADE APARENTE À 12% DE TEOR DE UMIDADE E AS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Populus deltoides* EM DIFERENTES IDADES.

Propriedade	$\rho_{\text{aparente}}$ Todas as idades	$\rho_{\text{aparente}}$ 8 anos	$\rho_{\text{aparente}}$ 10 anos	$\rho_{\text{aparente}}$ 12 anos
$f_M$ (MPa)	0,678**	0,544	0,597*	0,538*
$E_{M0}$ (MPa)	0,695**	0,523	0,652**	0,582*
$f_{v0}$ (MPa)	0,127	0,241	0,139	0,019
$f_{c0}$ (MPa)	0,305	-0,226	-0,101	-0,116
$E_{c0}$ (MPa)	-0,41	-0,661	-0,067	0,236
$f_{c90}$ (MPa)	0,465*	0,603	0,442	0,548*
$E_{c90}$ (MPa)	0,465**	0,164	0,316	0,699**
$f_{H0}$ (kN)	0,288	0,131	0,339	0,357
$f_{H90}$ (kN)	0,396**	0,249	0,352	0,499*
$f_{t0}$ (MPa)	0,346*	0,439	0,579*	0,487*
$E_{t0}$ (MPa)	0,314*	0,507	0,287	0,613**
$f_{i90}$ (MPa)	0,782**	0,821**	0,342	0,738

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA:  $\rho_{\text{aparente}}$  – densidade aparente à 12% de teor de umidade;  $f_M$  – módulo de ruptura em flexão estática;  $E_{M0}$  - módulo de elasticidade em flexão estática;  $f_{v0}$  - resistência ao cisalhamento;  $f_{c0}$  - resistência à compressão paralela às fibras;  $E_{c0}$  - módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras;  $f_{c90}$  - resistência à compressão normal às fibras;  $E_{c90}$  - módulo de elasticidade em compressão normal às fibras;  $f_{H0}$ , dureza Janka paralela às fibras;  $f_{H90}$ , dureza Janka normal às fibras;  $f_{t0}$  - resistência à tração paralela às fibras;  $E_{t0}$  - módulo de elasticidade em tração paralela às fibras;  $f_{i90}$  - resistência à tração normal às fibras; \*\* - significativo ao nível de % 1de probabilidade de erro; \* - significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

De acordo com Xavier (2008), a resistência e a rigidez da madeira avaliadas no sentido normal às fibras sofrem maior influência da densidade, devido a maior proporção de parede celular por unidade de distância neste sentido. Mustefaga et al. (2019) complementaram que para a propriedade de cisalhamento da madeira, a baixa correlação com a densidade se deve ao fato da ruptura frágil que ocorre neste ensaio.

Na Tabela 9 estão apresentados os valores de resistência característica à compressão paralela às fibras e ao cisalhamento, bem como o módulo de elasticidade médio na compressão paralela às fibras. Com base nos resultados obtidos, as madeiras de *Populus deltoides* para todas as idades investigadas, enquadra-se na classe de resistência C20 de acordo com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997), podendo ser utilizada para fins estruturais e não estruturais.

TABELA 9 – VALORES CARACTERÍSTICOS PARA A MADEIRA DE *Populus deltoides*.

Idade (anos)	$f_{c0k}$ (MPa)	$f_{v0k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)
8	27,75	7,64	9055
10	29,03	8,02	9923
12	25,02	7,98	9563
Geral	25,49	7,92	9591

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA:  $f_{c0}$  - resistência característica à compressão paralela às fibras;  $f_{v0k}$  - resistência característica ao cisalhamento;  $E_{c0,m}$  - módulo de elasticidade médio em compressão paralela às fibras.

Para fins de comparação, a Tabela 10 apresenta valores médios de densidade aparente à 12% de teor de umidade e algumas propriedades mecânicas referentes à espécie em estudo em comparação com essências florestais amplamente cultivadas no país e espécies nativas. De modo geral, a madeira de *Populus deltoides* apresentou valores médios inferiores para todas as propriedades quando comparada com as espécies de *Eucalyptus* spp. Porém, foi semelhante às características das espécies de *Schizolobium amazonicum*, *Simarouba amara* e *Pinus* spp. Deste modo, indica-se seu uso na confecção de painéis à base de madeira, palitos, móveis, e empregos estruturais que exijam madeira de classe C20.

TABELA 10 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ESPÉCIES FLORESTAIS.

Fonte	Espécie	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$f_M$ (MPa)	$E_{M0}$ (MPa)	$f_{v0}$ (MPa)	$f_{c0}$ (MPa)	$E_{c0}$ (MPa)
Este estudo	<i>Populus deltoides</i> <sup>1</sup>	0,41	60,53	7112	7,98	28,37	9514
Almeida et al. (2013)	<i>Schizolobium amazonicum</i> <sup>2</sup>	0,37	50,00	8900	6,00	24,00	7320
Lahr et al. (2017)	<i>Eucalyptus urophylla</i> <sup>3</sup>	0,74	87,70	13416	13,90	46,00	13391
Christoforo et al. (2018)	<i>Eucalyptus grandis</i> <sup>4</sup>	0,63	71,90	12086	11,60	40,10	12696
Nogueira et al. (2018)	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> <sup>5</sup>	0,90	122,50	14882	15,30	48,00	13286
Nogueira et al. (2019)	<i>Eucalyptus saligna</i> <sup>6</sup>	0,73	91,60	13313	14,00	46,80	15261
Mustefaga et al. (2019)	<i>Pinus patula</i> <sup>7</sup>	0,32	45,30	6318	6,79	31,00	9003
	<i>Pinus taeda</i> <sup>7</sup>	0,41	56,30	6628	8,23	28,50	7532
IPT (2020)	<i>Simarouba amara</i>	0,44	64,00	7257	7,00	33,00	-

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA:  $\rho_{ap}$  - densidade aparente à 12% de teor de umidade;  $E_{M0}$  - módulo de elasticidade em flexão estática;  $f_{v0}$  - resistência ao cisalhamento;  $f_{c0}$  - resistência à compressão paralela às fibras;  $E_{c0}$  - módulo de elasticidade em compressão paralela às fibras; <sup>1</sup> - valores médios correspondentes as idades 8, 10 e 12 anos; <sup>2</sup> - valores médios correspondentes a idade de 10 anos; <sup>3</sup> - valores médios correspondentes as idades 8, 12, 14, 22, 39, 41 e 42; <sup>4</sup> - valores médios correspondentes as idades 8, 12, 13, 14, 15, 24, 34 e 41 anos; <sup>5</sup> - valores médios correspondentes as idades 28, 41 e 50 anos; <sup>6</sup> - valores médios correspondentes a idade de 20 anos; <sup>7</sup> - valores médios correspondentes a idade de 12 anos.

#### 4 CONCLUSÕES

As madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos classificaram-se como madeiras de baixa densidade e muito instáveis, apresentando tendência de crescimento dos valores de densidade e contração volumétrica em função do aumento de idade.

Para a maioria das propriedades mecânicas obtidas para as madeiras de *Populus deltoides* nas idades analisadas, houve acréscimo dos valores à medida que a idade aumentou, constando-se que esta variabilidade foi grande parte influenciada pela densidade da madeira, pois se obteve correlações significativas entre esta propriedade e quase todas as propriedades mecânicas.

A espécie *Populus deltoides* aos 8, 10 e 12 anos classifica-se na classe de resistência C20 de acordo com a norma NBR 7190, sendo indicado seu uso para fins estruturais e não estruturais.

## 5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.H.; SCALIANTE, R.M.; MACEDO, L.B.; MACÊDO, A.N.; DIAS, A.A.; CHRISTOFORO, A.L.; CALIL JUNIOR, C. Caracterização completa da madeira da espécie amazônica paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) em peças de dimensões estruturais. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1175-1181, 2013. DOI: 10.1590/S0100-67622013000600019.

ALVES, R. C.; OLIVEIRA, A. L. C.; CARRASCO, E. V. M. Propriedades Físicas da Madeira de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1 – 7, 2017. DOI: 10.1590/2179-8087.015312.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BENDTSEN, B.A.; SENFT, J. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. **Wood and Fiber Science**. v. 18, n. 1, p. 23–38, 1986.

BENIN, C. C.; WATZLAWICK, L. F.; HILLIG, E. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus benthamii* sob efeito do espaçamento de plantio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1375-1384, 2017. DOI: 10.5902/1980509830219.

BRAZ, R. L.; OLIVEIRA, J. T. S.; RODRIGUES, B. P.; ARANTES, M. D. C. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 663 - 670, 2013. DOI: 10.5380/rf.v43i4.30559.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Árvore**, v. 38, n. 2, p. 375-381, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000200019.

CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; ARAUJO, V. A.; VASCONCELOS, J. S. Wood utilization of *Eucalyptus grandis* in structural elements: densities and mechanical properties. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 5, p. 642-647, 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n5p642-647/2018.

CORRÊA, R.S.; BELLOTE, A.F.J. Influência do solo na dimensão dos traqueídeos e densidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n.66, p. 93-102, 2011. DOI: 10.4336/2011.pfb.31.66.93.

CORTIZO, S.; MONTEVERDE, M. S.; ABBIATI, N. Diferencias físicas y mecánicas de la madera de cuatro clones de *Populus deltoides* seleccionados por el Programa de Mejora de INTA. II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madeira e II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, 17 al 19 de mayo 2017, Junín, Buenos Aires, Argentina.

DIAS, A. C. C.; MARCHESAN, R.; PIERONI, G. B.; ALMEIDA, V. C.; VIEIRA, R. S.; MORAES, C. B. Qualidade da madeira para produção de lâminas de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Floresta**, v. 47, n. 3, p. 333-341, 2017. DOI: 10.5380/arf.v47i1.50732.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FILIPPETTI, M. C.; GUILLAUMET, A. A.; TORTORIELLO, M.; MOSSRE, C. A. Potencial uso estructural de la madera *Populus deltoides* cultivado en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madeira e II Congresso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción, 17 al 19 de mayo 2017, Junín, Buenos Aires, Argentina.

FONTE, A. P. N.; TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; ANJOS, R. A. M. Propriedades físicas e químicas da madeira de cerne e alburno de *Cryptomeria japônica*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 16, n. 3, p. 277-285, 2017. DOI: 10.5965/223811711632017277.

HUDA, A.; KOUBAA, A.; CLOUTIER, A.; HERNANDEZ, R. E.; PÉRINET, P.; FORTIN, Y. Phenotypic and Genotypic Correlations for Wood Properties of Hybrid Poplar Clones of Southern Quebec. **Forests**, v. 9, n. 140, p. 1-17, 2018. DOI: 10.3390/f9030140.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Informações sobre madeiras. IPT, 2020. Disponível em: <[http://www.ipt.br/consultas\\_online/informacoes\\_sobre\\_madeira](http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira)>. Acesso em: 29 out. 2020.

JAVARINI, E. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas de *Populus deltoides*, plantado nas várzeas do Vale Médio do Rio Iguaçu**. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal), Centro Universitário de União da Vitória, União da Vitória, 2011.

KLASNJA, B.; KOPITOVIC, S.; ORLOVIC, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 331-337, 2003. DOI: 10.1007/s00226-003-0179-3.

KLITZKE, R.J. Secagem da madeira. In: Oliveira JTS, Fiedler NC, Nogueira M, editor. **Tecnologias aplicadas ao setor florestal brasileiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, 2007. cap. 7, p. 271-342.

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

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical Properties of Wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Ed. Centenária. Madison: USDA, 2010. p. 5-1; 5-44.

LAHR, F. A. R.; NOGUEIRA, M. C. J. A.; ARAUJO, V. A.; VASCONCELOS, J. S. CHRISTOFORO, A. L. Physical-mechanical characterization of *Eucalyptus urophylla* wood. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 900-906, 2017. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n5p900-906/2017.

LAU, P. C. **Produção de painéis de colagem lateral – EGP com madeira de Populus deltoides**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

LUCAS FILHO, F.C. **Estudo da influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência das madeiras de Pinus elliottii var. elliottii Engelm e Pinus taeda L.** 101 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciência Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MAGALHÃES, L. G. S.; LIMA, A. P. L.; LIMA, S. F.; SORATTO, D. N.; MARTINS, S. M. Densidade básica da madeira de clones de eucalipto em diferentes espaçamentos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.4, p.19435-19445, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n4-202.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 700 p.

MELO, R. R.; SILVESTRE, R.; OLIVEIRA, T. M.; PEDROSA, T. D. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, v. 04, n. 01, p. 83-92, 2013. DOI: 10.12953/2177-6830.v04n01a07.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira**. 119 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, 1999.

MUSTEFAGA, E. C.; HILLIG, E.; TAVARE, E. L.; SOZIM, P. C. L.; RUSCH, F. Caracterização físico-mecânica da madeira juvenil de Pinus. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 123, p. 1-10, 2019. DOI: 10.18671/scifor.v47n123.09.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; ALMEIDA, D. H.; ARAUJO, V. A.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L.; ALMEIDA, T. H.; LAHR, F. A. R. Physical and mechanical properties of *Eucalyptus saligna* wood for timber structures. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 233-239, 2019. DOI: 10.1590/s1678-86212019000200319.

NOGUEIRA, M. C. J. A.; ARAUJO, V. A.; VASCONCELOS, J. S.; GUTIÉRREZ-AGUILAR, C. M.; CRUZ, J. N.; VASCONCELOS, J. C. S.; PRATAVIERA; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Caracterización físico-mecánica de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* para uso estructural proveniente de Restinga, Brasil. **Revista Forestal del Perú**, v. 33, n. 1, p. 52-62, 2018. DOI: 10.21704/rfp.v33i1.1155.

NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B.; CARVALHO, A. F.; WEISE, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57 - 64, 2015. DOI: 10.5380/rf.v45i1.30157.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 3 ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.

RAMOS, L. M. A.; LATORRACA, J. V. F.; PASTRO, M. S.; SOUZA, M. T.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. Variação radial dos caracteres anatômicos da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden e idade de transição entre lenho juvenil e adulto. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 411-418, 2011.

SETTE JR, C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000600019.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015. DOI: 10.1590/01047760201521021294.

SPEAR, M.; WALKER, J. Dimensional Instability in Timber. In: Walker J. **Primary Wood Processing: principle and practice**. 2 ed. Netherlands: Springer, 2006. p. 95 – 120.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação da estabilidade dimensional de espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 398-406, 2013. DOI: 10.4322/floram.2012.071.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, v. 2, n. 1, p. 1-15, 1996.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

WALKER, J. C. F. Grading timber. In: WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 321-376.

WANG, S. Y.; LIN, C. J.; CHIU, C. M.; CHEN, J. H.; YUNG, T. H. Dynamic modulus of elasticity and bending properties of young Taiwania trees grown with different thinning and pruning treatments. **Journal Wood Science**, v. 51, p. 1-6, 2005.

XAVIER, R. B. L. **Avaliação da dureza Janka, densidade e estabilidade de quatro espécies de *Eucalyptus* implantadas no estado do Rio de Janeiro**. 21 f. Monografia (Curso

de Graduação em Engenharia Florestal) - Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

YU, Q.; ZHANG, S.Y.; PLIURA, A.; MACKAY, J.; BOUSQUET, J.; PERINET, P. Variation in mechanical properties of selected young poplar hybrid crosses. **Forest Science**, v. 54, n. 3, p. 255-259, 2008. DOI: 10.1093/forestscience/54.3.255.

### CAPÍTULO 3 – UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Populus deltoides* NA PRODUÇÃO DE MDP E HDP

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi avaliar as propriedades de painéis MDP (*medium density particleboard*) e HDP (*high density particleboard*), produzidos com a madeira de *Populus deltoides* pura ou em mistura com *Pinus taeda*, com utilização da resina uréia-formaldeído. Inicialmente determinou-se a densidade básica da madeira desta espécie com 8 e 12 anos de idade, as quais foram utilizadas para a produção dos painéis com densidade nominal de  $0,65 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$ . Realizou-se os ensaios de absorção de água, inchamento em espessura após 2 e 24h de imersão, flexão estática e tração perpendicular. A utilização das partículas curtas e espessas de *Populus deltoides* na produção painéis MDP e HDP, resultaram em melhor resistência a tração perpendicular, e quando misturadas as partículas longas e finas de *Pinus taeda* melhoraram a estabilidade dimensional dos painéis, principalmente para a propriedade inchamento em espessura. Quanto as propriedades mecânicas obtidas para os painéis produzidos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pelas normas NBR 14810-2 e ANSI A208.1, demonstrando o potencial de uso da madeira desta espécie para a produção de painéis MDP e HDP, em ambas as idades estudadas e utilizadas puras ou em mistura com madeira de *Pinus taeda*.

Palavras-chave: álamo; painéis; propriedades físico-mecânicas; pinus.

### USE OF WOOD FROM *Populus deltoides* IN THE PRODUCTION OF MDP AND HDP

**Abstract:** The aim of this study was to evaluate the properties of MDP (*medium density particleboard*) and HDP (*high density particleboard*) panels, produced with pure *Populus deltoides* wood or mixed with *Pinus taeda*, using urea-formaldehyde resin. Initially it was determined the basic density of the wood of this species with 8 and 12 years old, which were used for the production of panels with nominal density of  $0.65 \text{ g.cm}^{-3}$  and  $0.90 \text{ g.cm}^{-3}$ . Water absorption, thickness swelling tests were performed after 2 and 24 hours of immersion, static bending and perpendicular traction. The use of short and thick particles of *Populus deltoides* in the production of MDP and HDP panels, resulted in better resistance to perpendicular traction, and when mixed the long and fine particles of *Pinus taeda* improved the dimensional stability of the panels, mainly for the thickness swelling property. Regarding the mechanical properties obtained for the panels produced, they met the minimum requirements established by NBR 14810-2 and ANSI A208.1, demonstrating the potential use of wood of this species for the production of MDP and HDP panels, at both ages studied and used pure or mixed with *Pinus taeda* wood.

Keywords: poplar; panels; physical-mechanical properties; pine.

## 1 INTRODUÇÃO

Os painéis particulados são produzidos por meio da combinação de partículas de madeira e resina sintética ou natural, com aglutinação realizada por meio da ação de calor e pressão durante a prensagem (IWAKIRI, 2005; CHAGAS et al., 2008; BARROS FILHO, 2009; NAPOLI et al., 2013). De acordo com a norma ANSI A208.1 (ANSI, 2009), este tipo de painel pode ser classificado como de média ( $0,64 \text{ g/cm}^3$  a  $0,8 \text{ g/cm}^3$ ) e alta densidade ( $>0,80 \text{ g/cm}^3$ ), sendo empregado principalmente na produção de móveis (BIAZUS et al., 2010; NAPOLI et al., 2013). Iwakiri et al. (2008) complementaram que painéis de alta densidade são destinados a aplicações específicas que requeiram alta resistência mecânica, como por exemplo, pisos.

Dentre os países produtores de painéis de madeira reconstituída, o Brasil se encontra em 8º lugar, totalizando em 2019 8,2 milhões de  $\text{m}^3$  de painéis produzidos (IBÁ, 2020). Para a produção de painéis particulados as empresas utilizam como matéria-prima toras provenientes de plantios das espécies *Pinus taeda*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urograndis*, localizados principalmente na região sul do país. Para tal finalidade, realiza-se o corte raso das árvores com 15 anos ou entre 16 e 18 anos para o pinus, e próximo aos 7 anos para eucalipto (ARAUCO FOREST BRASIL S. A., 2018; BERNECK S.A., 2019).

A demanda e competitividade pela madeira destas espécies para confecção de outros tipos de painéis como de fibras e compensados, além de madeira serrada e celulose, gera necessidade de aumentar as áreas de plantios ou buscar espécies alternativas de rápido crescimento (TRIANOSKI et al., 2017). De acordo com Trianoski et al. (2011) e Bianche et al. (2012), a utilização de novas espécies, puras ou em mistura com espécies tradicionais, na produção de painéis particulados, caracteriza-se como alternativa rápida, de baixo custo e sustentável.

No Brasil, várias espécies alternativas para a produção de painéis particulados já foram pesquisadas, como por exemplo, *Schizolobium amazonicum* e *Cecropia hololeuca* (IWAKIRI et al., 2010); *Cryptomeria japonica* (TRIANOSKI et al., 2013); *Toona ciliata* (TRIANOSKI et al., 2014); *Hovenia dulcis* e *Mimosa scabrella* (SANCHES et al., 2016); *Pinus patula* (RIOS et al., 2016); *Eucalyptus badjensis* (PEREIRA et al., 2017); *Hevea brasiliensis* (IWAKIRI et al., 2018); *Ligustrum lucidum* (SOZIM et al., 2019); *Cupressus torulosa* (IWAKIRI et al., 2020).

Recomenda-se a utilização de espécies de  $0,55 \text{ g/cm}^3$  a  $0,60 \text{ g/cm}^3$  de densidade, pois se obtém painéis com razão de compactação adequada e densidade equivalente aos painéis já comercializados (MOSLEMI, 1974; CABRAL et al., 2007). Quanto à resina, a uréia-formaldeído é a mais utilizada na produção de painéis particulados destinados a uso interno,

devido à sua reatividade e seu baixo custo (CARVALHO; LELIS; NASCIMENTO, 2014; CARVALHO et al., 2014; FARIA et al., 2018).

De acordo com o *Forest Stewardship Council* (FSC, 2020), em países como China, Eslovênia, Taiwan, Áustria, Polônia, Índia e Espanha, há registros do uso da madeira de *Populus deltoides* para a produção industrial de painéis de madeira reconstituída.

Diante deste cenário, teve-se por objetivo produzir e avaliar a qualidade de painéis particulados, de média e alta densidade, produzidos com a madeira de *Populus deltoides* pura ou em mistura com *Pinus taeda*.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos painéis MDP (*medium density particleboard*) e HDP (*high density particleboard*), foi utilizada a última tora obtida para as árvores de *Populus deltoides* nas idades de 8 e 12 anos, conforme descrito no item 3 MATERIAL e ilustrado na Figura 2 (pgs. 4-7).

A densidade básica foi determinada segundo as recomendações da norma NBR 11941 (ABNT, 2003), desta forma, em 75% e 100% da altura comercial foi retirado um disco de 5 cm de espessura (ver item 3 MATERIAL e FIGURA 2, pgs. 4-7).

As toras de *Populus deltoides* foram desdobradas em pranchões com espessura de 7,62 cm, com comprimentos e larguras variáveis, os quais posteriormente foram processados em picador florestal a discos e em picador/triturador forrageiro, até a obtenção de partículas do tipo “sliver” (FIGURA 24). As partículas que passaram pela peneira de 8 mesh e ficarem retidas na peneira de 30 mesh foram encaminhadas à estufa com ventilação forçada a 60 °C, onde permaneceram até atingirem cerca de 3% de umidade (base seca), valor recomendado pelos fabricantes do adesivo para a adequada adesão entre as partículas. A madeira de *Pinus taeda* com densidade aparente de 0,41 g.cm<sup>-3</sup> e 3% de umidade (base seca), foi obtida na forma de partículas em uma indústria de painéis particulados da região de Guarapuava-PR. Para adesão das partículas, foi utilizada resina uréia-formaldeído na proporção de 10% de sólidos em relação ao peso seco das partículas, com as seguintes propriedades: 66,5% de teor de sólidos, 8,2 de pH, 324 cPs de viscosidade Brookfield, 40 s de gel time e 1,30 g.cm<sup>-3</sup> de densidade.

Também foi utilizado 1% de parafina, a fim de reduzir a higroscopicidade dos painéis, e 2% sulfato de amônio como catalisador para acelerar o tempo de cura da resina. Para a aglutinação dos painéis, foi utilizada pressão específica de 40 Kgf.cm<sup>-2</sup>, temperatura de 160 °C e tempo de prensagem de 10 minutos (FIGURA 24). Foram produzidos painéis

homogêneos com cinco combinações de madeira e duas densidades, totalizando 10 tipos de painéis, com três repetições de cada (Tabela 11).

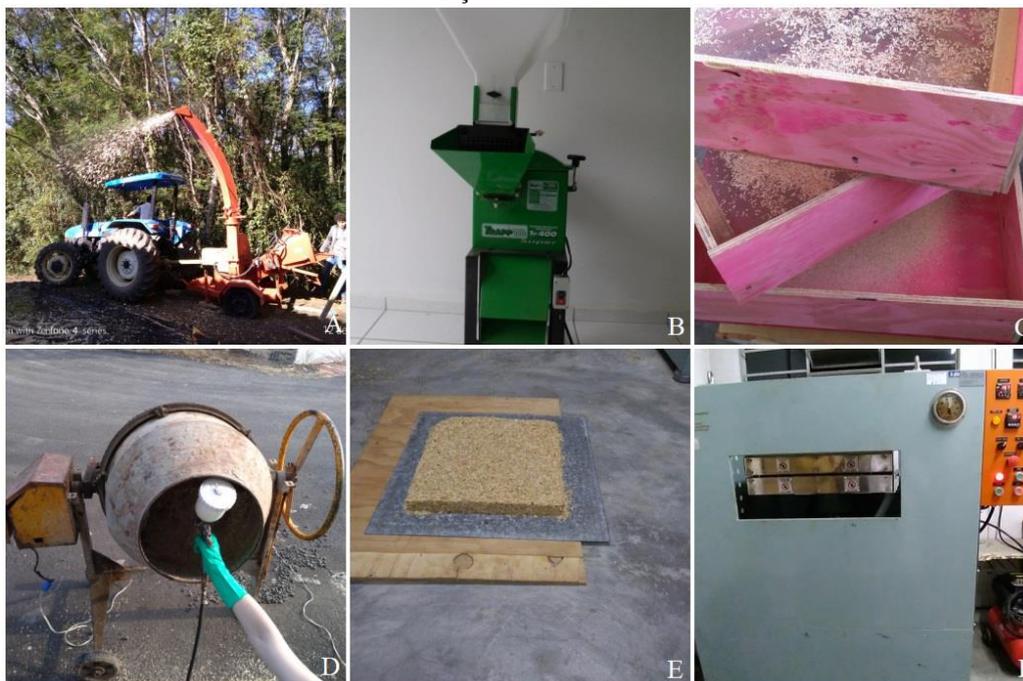
TABELA 11 – COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS MDP E HDP.

Painel	Madeira	Densidade (g.cm <sup>-3</sup> )
1	100% Pt	0,65
2	100% Pd8	0,65
3	50% Pt + 50% Pd8	0,65
4	100% Pd12	0,65
5	50% Pt + 50% Pd12	0,65
6	100% Pt	0,90
7	100% Pd8	0,90
8	50% Pt + 50% Pd8	0,90
9	100% Pd12	0,90
10	50% Pt + 50% Pd12	0,90

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Pt – *Pinus taeda*; Pd8 – *Populus deltoides* com 8 anos; Pd12 – *Populus deltoides* com 12 anos.

FIGURA 24 – PRODUÇÃO DOS PAINÉIS MDP E HDP.



FONTE: A autora (2018).

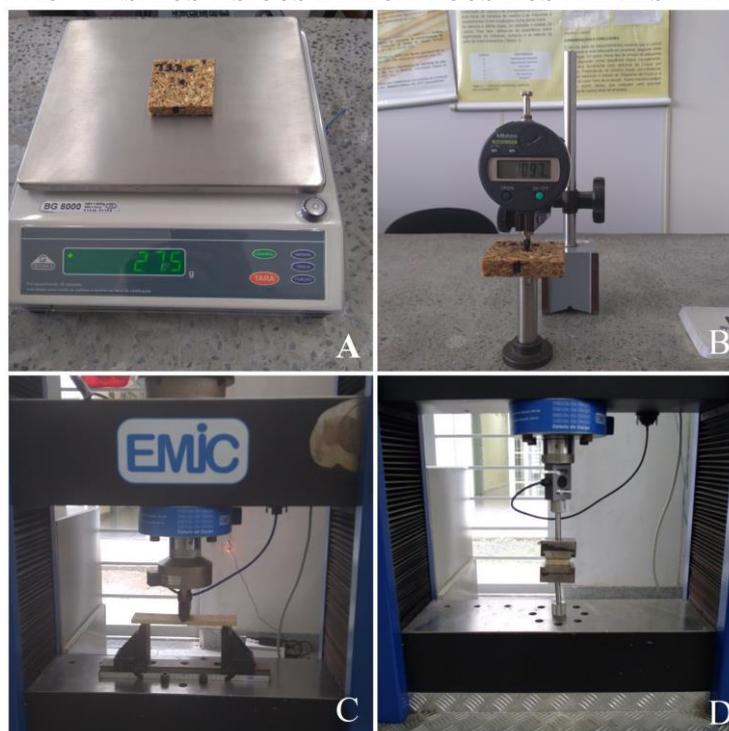
LEGENDA: A - picador florestal a discos; B - picador/triturador forrageiro; C – classificação das partículas em peneiras de 8 e 30 mesh; D – aplicação da resina e da parafina nas partículas; E – formação do colchão; F – prensagem dos painéis em prensa de pratos com aquecimento elétrico.

Após a prensagem, os painéis permaneceram em câmara climatizada com umidade relativa de  $65\pm 5\%$  e temperatura de  $20\pm 3$  °C até atingirem teor de umidade de equilíbrio com o ambiente. Ao término deste período, foram confeccionados corpos de prova para realização dos ensaios físicos: densidade, absorção de água e inchamento em espessura, após períodos de 2 e 24h de imersão em água (AA2; AA24; IE2; IE24), e mecânicos: flexão estática, para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), e tração

perpendicular à superfície do painel para verificar a ligação interna (LI), conforme as recomendações da norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) (FIGURA 25). De cada painel produzido, foram confeccionados 10 corpos de prova por ensaio físico-mecânico realizado. Também se determinou a razão de compactação dos painéis, por meio dos valores obtidos para densidade do painel e para densidade da composição, conforme descrito por Moslemi (1974).

De posse das partículas produzidas de *Populus deltoides* com 8 e 12 anos, e das partículas de *Pinus taeda* obtidas na indústria, foi avaliada a geometria das partículas por meio do índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial conforme descrito por Moslemi (1974). Para cada espécie foi utilizada uma amostra de 100 partículas.

FIGURA 25 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS MDP E HDP.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – pesagem do corpo de prova em balança analítica para determinação da densidade e absorção de água; B – medição da espessura do corpo por meio de micrometro digital para determinação do inchamento em espessura; C – ensaio de flexão estática; D – ensaio de tração perpendicular à superfície do painel.

Para a geometria das partículas, a comparação dos valores obtidos foi realizada por meio de um delineamento inteiramente casualizado considerando-se como tratamentos as espécies de *Pinus taeda*, *Populus deltoides* – 8 anos e *Populus deltoides* – 12 anos, com 100 repetições. Quanto aos valores de razão de compactação e aos obtidos nos ensaios físico-mecânicos dos painéis MDP e HDP, a comparação foi feita por meio de um delineamento inteiramente casualizado considerando-se como tratamentos as cinco combinações de madeira (100%Pt; 100%Pd8; 50%Pt+50%Pd8; 100%Pd12; 50%Pt+50%Pd12), com 10 repetições para

cada propriedade analisada. Dessa maneira, os valores obtidos para a geometria das partículas, razão de compactação e propriedades físico-mecânicas dos painéis MDP e HDP foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: teste de *Kolmogorov Smirnov* para analisar a normalidade dos dados; teste de *Levene* para analisar a homogeneidade das variâncias; comprovada a normalidade e a homogeneidade das variâncias, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA); havendo rejeição da hipótese de igualdade pela ANOVA, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Também foi realizada análise de correlação de Pearson entre os valores médios obtidos para as propriedades físicas e mecânicas dos painéis MDP e HDP.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Para densidade básica determinada para as madeiras de *Populus deltoides*, foram obtidos os valores médios de  $0,38 \text{ g.cm}^{-3}$  para a idade de 8 anos e  $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$  para as árvores com 12 anos. Os resultados obtidos neste estudo são compatíveis a  $0,38 \text{ g.cm}^{-3}$  de densidade básica relatado por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003) para as madeiras de clones de *Populus deltoides* com 4 anos de idade.

A densidade básica obtida para as madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8 e 12 anos, são próximas a  $0,48 \text{ g.cm}^{-3}$  encontrada por Trianoski et al. (2016) para a madeira de *Pinus taeda*, espécie tradicionalmente utilizada na confecção de painéis particulados.

A baixa densidade encontrada para as madeiras de *Populus deltoides* em ambas as idades analisadas, indicam facilidade de colagem pelo fato da madeira ser constituída por células de paredes delgadas e com lúmens maiores, conseqüentemente maior quantidade de adesivo é comportada, não necessitando então da aplicação de elevada pressão durante o processo de prensagem (FRIHART; HUNT, 2010). Moslemi (1974) complementa que além da influência na colagem, a utilização de madeira com baixa densidade na produção de painéis particulados leva a obtenção de valores adequados para razão de compactação.

#### 3.2 GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS

Para as características índice de esbeltez, razão de planicidade e área superficial determinadas para as partículas de *Pinus taeda* e *Populus deltoides* com 8 e 12 anos,

apresentadas na Tabela 12, foi constatado diferença estatística significativa. A diferença constatada, principalmente entre as espécies, pode ser atribuída ao equipamento utilizado para a confecção das partículas. As partículas de *Pinus taeda* utilizadas neste estudo foram produzidas em nível industrial por meio de equipamentos automatizados, enquanto as partículas de *Populus deltoides* foram obtidas utilizando-se equipamentos menos sofisticados, além da classificação destas ser realizada manualmente com o auxílio de peneiras.

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS DAS CARACTERÍSTICAS DAS PARTÍCULAS DE *Pinus taeda* E *Populus deltoides*.

<b>Espécie</b>	<b>Índice de esbeltez</b>	<b>Razão de planicidade</b>	<b>Área superficial (cm<sup>2</sup>/g)</b>
<i>Pinus taeda</i>	13,63 a (16,33)	2,12 a (27,03)	67,39 c (14,74)
<i>Populus deltoides</i> – 8 anos	6,27 b (30,10)	1,83 b (25,69)	77,46 b (12,58)
<i>Populus deltoides</i> – 12 anos	6,36 b (32,84)	1,78 b (37,23)	83,53 a (10,36)
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	0,200	0,200	0,086
<b>Levene</b>	0,102	0,110	0,247
<b>Anova</b>	0,000	0,000	0,000

FONTE: A autora (2020).

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

As partículas longas e finas de *Pinus taeda*, levaram a obtenção de maior índice de esbeltez e razão de planicidade e, menor área superficial, tendendo a obtenção de painéis com maior resistência a flexão estática e maior estabilidade dimensional. Em contrapartida, as partículas mais curtas e espessas obtidas para *Populus deltoides* com 8 e 12 anos levaram a obtenção de maior área superficial e menor índice de esbeltez e razão de planicidade, conseqüentemente os painéis produzidos com estas partículas apresentaram uma maior disponibilidade de resina, podendo levar então a obtenção de maior resistência a tração perpendicular devido a sua colagem mais eficiente (VITAL et al., 1992).

### 3.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS MDP E HDP

Os painéis MDP apresentaram densidade próxima à densidade nominal estabelecida de 0,65 g.cm<sup>-3</sup>, classificados, de acordo com a norma ANSI A208.1 (ANSI, 2009), como de média densidade (0,64 g.cm<sup>-3</sup> a 0,8 g.cm<sup>-3</sup>) (Tabela 13). Os valores médios de razão de compactação variaram de 1,54 a 1,67, contemplando a faixa de 1,3 a 1,6, relatada por Moslemi (1974) como ideal para painéis aglomerados.

Foi constatada diferença estatística significativa entre as propriedades estudadas, destacando-se que a adição da madeira de *Populus deltoides* na composição com *Pinus taeda* proporcionou melhoria da estabilidade dimensional dos painéis.

Para MOR, MOE e LI (Tabela 13) constatou-se redução dos valores médios quando se realizou a mistura de *Pinus taeda* com *Populus deltoides* em ambas as idades. De modo geral, verifica-se que os painéis produzidos com a madeira de *Populus deltoides* com 8 anos de idade resultaram em melhores propriedades físico-mecânicas.

Em relação ao atendimento dos requisitos mínimos exigidos pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) para painéis não estruturais destinados a uso interno em condições secas, nenhum dos painéis confeccionados atendeu ao requisito máximo de 18% de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, indicando a necessidade de aumentar a proporção da resina uréia-formaldeído na produção dos painéis. No que condiz as propriedades mecânicas, todos atenderam aos valores mínimos de 11 MPa, 1800 MPa e 0,40 MPa para MOR, MOE e LI, respectivamente, exigidos pela referida norma.

Comparando os valores deste estudo com os relatados na literatura, Hafezi et al. (2015) em pesquisa com painéis particulados de média densidade ( $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ ) fabricados na proporção de 55/45, com palha de trigo (*Triticum aestivum* L.) e madeira de populus (*Populus* sp.) oriunda de fustes inteiros colhidos no Irã, e resina uréia-formaldeído, encontraram para as propriedades mecânicas valores médios de 7 MPa, 1000 MPa e 0,1 MPa para MOR, MOE e LI, respectivamente. Para as propriedades físicas absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, os valores obtidos foram 105%, 125%, 58% e 72%. Os autores ainda destacaram que a utilização da palha de trigo em maior proporção propiciou a obtenção de maior resistência à água aos painéis produzidos, e que isto é justificado pelo maior conteúdo de sílica deste material e pela geometria das partículas, que no caso apresentavam-se mais longas e finas do que as partículas de populus. Destaca-se que os valores obtidos por tais autores são inferiores aos deste estudo para as propriedades mecânicas e superiores para as propriedades físicas dos painéis, e que a tendência de maior resistência à água atrelado as dimensões das partículas também foi evidenciado para a propriedade de inchamento em espessura para os painéis produzidos com a mistura de *Populus deltoides* e *Pinus taeda* em ambas as idades.

Nourbakhsh (2010) utilizou fustes inteiros de *Populus deltoides* com 3 anos de idade e resina uréia-formaldeído na proporção de 10% na produção de painéis MDP com densidade de  $0,70 \text{ g.cm}^{-3}$ . Para as propriedades mecânicas o autor obteve valores de 16,81 MPa, 1890 MPa e 0,86 MPa, para MOR, MOE e LI, enquanto que, para as propriedades físicas inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, os valores obtidos foram 19,07% e 21,84%. Os resultados obtidos no referido estudo são próximos aos deste estudo (Tabela 13),

confirmando a viabilidade da utilização da madeira de *Populus deltoides* nos primeiros anos para usos não estruturais como decoração de interiores (móveis, paredes e forro).

Conforme apresentado na Tabela 14, os painéis HDP apresentaram densidade próxima a densidade nominal estabelecida em  $0,90 \text{ g.cm}^{-3}$ , sendo classificado, segundo os critérios da norma ANSI A208.1 (ANSI, 2009), como de alta densidade ( $>0,80 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Para as demais propriedades analisadas (Tabela 14), foi constatada diferença estatística significativa. Destaca-se que os painéis confeccionados com as madeiras de *Populus deltoides* em ambas as idades, pura ou em mistura com *Pinus taeda*, apresentaram valores médios inferiores aos painéis de *Pinus taeda* para absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão e, valores médios superiores para MOR, MOE e LI.

Como não há padrões normativos brasileiro para painéis particulados de alta densidade, os resultados obtidos foram comparados a valores estabelecidos pela norma americana ANSI A208.1 (ANSI, 2009). A referida norma estabelece valores para MOR, MOE e LI de 14,9 MPa, 2160 MPa e 0,81 MPa, respectivamente, constatando-se que apenas os painéis HDP confeccionados com *Populus deltoides* em ambas as idades, atenderam o requisito mínimo para LI.

A melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis MDP e HDP atrelados a utilização da madeira de *Populus deltoides*, pode ser atribuída a combinação de diversos fatores, como a composição química (TABELA 5, CAPÍTULO 1, pg. 31), a geometria da partícula (TABELA 12) e a densidade da composição.

A utilização de partículas curtas e espessas obtidas para as madeiras de *Populus deltoides* nas idades 8 e 12 anos, na confecção dos painéis, proporcionou a obtenção de maior resistência a tração perpendicular para os painéis MDP e HDP. Comportamento semelhante foi observado por Pereira et al. (2017) para painéis MDP produzidos com partículas industriais de *Pinus* spp. e partículas de *Eucalyptus badjensis* produzidas em condições laboratoriais com madeira oriunda de todo o fuste.

TABELA 13 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE MDP.

Painel	Dc (g.cm <sup>-3</sup> )	Dp (g.cm <sup>-3</sup> )	RC	Absorção de água		Inchamento em espessura		Flexão estática		Tração perpendicular
				AA2 (%)	AA24 (%)	IE2 (%)	IE24 (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LI (MPa)
100% Pt	0,41	0,66 a (3,73)	1,62 ab (3,73)	28,63 a (17,40)	71,29 a (10,60)	13,55 b (9,14)	32,49 a (10,26)	18,23 a (16,88)	2112,33 ab (15,27)	0,62 b (10,25)
100% Pd8	0,38	0,65 a (4,01)	1,67 a (4,01)	17,52 c (19,55)	49,14 c (10,84)	12,26 b (10,91)	34,72 a (7,84)	17,80 a (12,56)	2267,53 a (13,99)	0,75 a (9,18)
50% Pt + 50% Pd8	0,40	0,64 a (3,88)	1,60 b (3,88)	24,76 ab (19,87)	75,13 a (8,80)	9,39 c (13,67)	27,78 b (14,03)	13,13 b (11,89)	1833,54 b (8,62)	0,54 c (12,21)
100% Pd12	0,40	0,65 a (3,55)	1,54 c (3,55)	22,99 b (13,03)	70,69 a (8,52)	15,49 a (10,18)	34,22 a (13,92)	13,98 b (19,87)	2259,11 a (16,37)	0,55 c (13,76)
50% Pt + 50% Pd12	0,41	0,64 a (4,21)	1,55 c (4,21)	25,23 ab (14,39)	63,19 b (11,77)	10,17 c (10,52)	31,25 ab (13,40)	12,78 b (16,46)	2216,53 a (22,58)	0,52 c (13,13)
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	-	0,200	0,200	0,200	0,051	0,200	0,051	0,200	0,200	0,200
<b>Levene</b>	-	0,836	0,737	0,137	0,346	0,599	0,107	0,113	0,051	0,812
<b>Anova</b>	-	0,127	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Dc – densidade da composição; Dp – densidade do painel; RC – razão de compactação; AA2 – absorção de água após 2 horas de imersão; AA24 – absorção de água após 24 horas de imersão; IE2 – inchamento em espessuras após 2 horas de imersão; IE24 – inchamento em espessura pós 24 horas de imersão; MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; LI – ligação interna.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

TABELA 14 – PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DOS PAINÉIS DE HDP.

Painel	Dc (g.cm <sup>-3</sup> )	Dp (g.cm <sup>-3</sup> )	RC	Absorção de água		Inchamento em espessura		Flexão estática		Tração perpendicular
				AA2 (%)	AA24 (%)	IE2 (%)	IE24 (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LI (MPa)
100% Pt	0,41	0,91 a (3,56)	2,21 c (3,56)	27,92 a (20,68)	62,41 a (8,73)	11,60 a (19,04)	30,87 a (10,99)	22,84 ab (10,90)	2574,57 b (12,04)	0,66 b (11,51)
100% Pd8	0,39	0,93 a (3,58)	2,39 a (3,58)	16,70 b (21,00)	43,76 b (17,58)	9,65 bc (11,11)	27,86 ab (18,45)	25,67 a (7,76)	3150,31 a (8,66)	0,82 a (10,92)
50% Pt + 50% Pd8	0,40	0,93 a (3,43)	2,32 b (3,43)	20,47 b (25,63)	48,42 b (10,88)	7,98 cd (18,43)	27,48 ab (14,25)	21,33 b (10,41)	2988,37 ab (9,81)	0,62 b (14,37)
100% Pd12	0,42	0,94 a (2,43)	2,24 c (2,43)	18,32 b (16,94)	46,06 b (14,05)	10,20 ab (12,90)	27,23 ab (16,89)	23,05 ab (11,69)	2840,14 ab (12,09)	0,82 a (9,96)
50% Pt + 50% Pd12	0,42	0,93 a (2,43)	2,24 c (2,43)	19,61 b (19,52)	46,47 b (14,65)	6,87 d (12,08)	25,42 b (18,96)	23,26 ab (9,85)	2927,36ab (13,22)	0,68 b (11,69)
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	-	0,051	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
<b>Levene</b>	-	0,852	0,368	0,647	0,320	0,181	0,621	0,854	0,744	0,838
<b>Anova</b>	-	0,098	0,000	0,000	0,000	0,000	0,048	0,045	0,010	0,000

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Dc – densidade da composição; Dp – densidade do painel; RC – razão de compactação; AA2 – absorção de água após 2 horas de imersão; AA24 – absorção de água após 24 horas de imersão; IE2 – inchamento em espessuras após 2 horas de imersão; IE24 – inchamento em espessura pós 24 horas de imersão; MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; LI – ligação interna.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Por meio das correlações positivas significativas apresentadas na Tabela 15, pode-se observar a influência da densidade da composição e da razão de compactação sob as propriedades módulo de ruptura à flexão estática e resistência a tração perpendicular para painéis MDP, confirmando o relatado por Moslemi (1974) de que painéis particulados confeccionados com madeira de baixa densidade resultam em razão de compactação superior e conseqüentemente conferem melhoria às propriedades mecânicas.

Em contrapartida, a maior compactação e a melhor colagem dos painéis MDP tornaram os painéis menos higroscópicos, obtendo-se correlação negativa significativa entre a razão de compactação e absorção de água após 24 horas de imersão e, ligação interna e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão. De acordo com Frihart e Hunt (2010) e Trianoski et al. (2013), este comportamento pode estar também relacionado à composição química da madeira, principalmente a presença de extrativos, os quais podem interferir fisicamente no processo de colagem formando uma barreira na superfície através da sua migração durante o processo de secagem da madeira, ou quimicamente, pois dependendo da natureza dos extrativos estes podem ser mais ácidos interferindo na cura da resina.

Correlações positivas e negativas significativas foram obtidas para as propriedades físicas absorção de água e inchamento em espessura dos painéis MDP, além de correlação positiva significativa entre o módulo de ruptura à flexão estática e ligação interna. Também foi constatado correlação positiva significativa entre o inchamento em espessura e módulo de elasticidade à flexão estática, podendo-se atribuir este comportamento ao inchamento da própria madeira, ao retorno em espessura do painel após a prensagem e a separação do material (HSU, 1987).

TABELA 15 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS MDP.

	<b>Dp</b>	<b>RC</b>	<b>AA2</b>	<b>AA24</b>	<b>IE2</b>	<b>IE24</b>	<b>MOR</b>	<b>MOE</b>	<b>LI</b>
<b>Dp</b>	1	0,452	-0,054	-0,232	0,340	0,239	0,529*	0,330	0,206
<b>RC</b>		1	-0,426	-0,524*	-0,168	0,054	0,599*	-0,060	0,718*
<b>AA2</b>			1	0,835*	-0,104	-0,551*	-0,214	-0,297	-0,541*
<b>AA24</b>				1	-0,051	-0,590*	-0,396	-0,387	-0,674*
<b>IE2</b>					1	0,687*	0,486	0,633*	0,250
<b>IE24</b>						1	0,495	0,624*	0,498
<b>MOR</b>							1	0,400	0,779*
<b>MOE</b>								1	0,325
<b>LI</b>									1

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Dp – densidade do painel; RC – razão de compactação; AA2 – absorção de água após 2 horas de imersão; AA24 – absorção de água após 24 horas de imersão; IE2 – inchamento em espessuras após 2 horas de imersão; IE24 – inchamento em espessura pós 24 horas de imersão; MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; LI – ligação interna; \* - significativos ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Para os painéis HDP as correlações de Pearson entre as propriedades físicas e mecânicas são apresentadas na Tabela 16. Destaca-se que foi verificado comportamento semelhante ao relatado para os painéis MDP, obtendo-se correlação positiva significativa entre a razão de compactação e o módulo de elasticidade à flexão estática, e entre as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, além de correlação negativa significativa entre absorção de água após 2 horas de imersão e módulo de elasticidade à flexão estática.

TABELA 16 – CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS OBTIDAS PARA OS PAINÉIS HDP.

	<b>Dp</b>	<b>RC</b>	<b>AA2</b>	<b>AA24</b>	<b>IE2</b>	<b>IE24</b>	<b>MOR</b>	<b>MOE</b>	<b>LI</b>
<b>Dp</b>	1	0,300	-0,270	-0,184	-0,043	-0,027	-0,017	0,151	0,286
<b>RC</b>		1	-0,472	-0,380	-0,150	0,026	0,231	0,553*	0,277
<b>AA2</b>			1	0,886*	0,399	0,559*	-0,376	-0,688*	-0,225
<b>AA24</b>				1	0,563*	0,747*	-0,237	-0,487	-0,240
<b>IE2</b>					1	0,698*	0,117	-0,422	0,177
<b>IE24</b>						1	-0,024	-0,248	0,005
<b>MOR</b>							1	0,371	0,227
<b>MOE</b>								1	0,076
<b>LI</b>									1

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: Dp – densidade do painel; RC – razão de compactação; AA2 – absorção de água após 2 horas de imersão; AA24 – absorção de água após 24 horas de imersão; IE2 – inchamento em espessuras após 2 horas de imersão; IE24 – inchamento em espessura pós 24 horas de imersão; MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; LI – ligação interna; \* - significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro.

#### 4 CONCLUSÕES

As madeiras de *Populus deltoides* com 8 e 12 anos apresentaram densidade básica próxima a madeira de *Pinus taeda*, espécie tradicionalmente utilizada na confecção de painéis particulados.

A utilização das partículas curtas e espessas de *Populus deltoides* na produção painéis MDP e HDP, resultaram em melhor resistência a tração perpendicular, e quando misturadas as partículas longas e finas de *Pinus taeda* melhoraram a estabilidade dimensional dos painéis, principalmente para a propriedade inchamento em espessura.

As propriedades mecânicas obtidas atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 14810-2 para painéis particulados de média densidade não estruturais destinado a uso interno e, ANSI A208.1 para painéis particulados de alta densidade.

As correlações de Pearson obtidas para os painéis MDP e HDP demonstraram que a utilização da madeira de baixa densidade juntamente a compactação e colagem do painel influenciaram positivamente as propriedades físico-mecânicas, e que a estabilidade dimensional do painel teve influência principalmente sobre o módulo de elasticidade à flexão estática.

Diante dos resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas avaliadas para madeira ou para os painéis, recomenda-se o uso da espécie *Populus deltoides* na confecção de painéis particulados de média e alta densidade utilizando-se toras de menores diâmetros quando adotado o regime de manejo multiprodutos.

## 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1**: mat-formed wood particleboard - specifications. Gaithersburg, 2009. 13 p.

ARAUCO FOREST BRASIL S. A. **Resumo público do manejo florestal**: regiões de Campo do Tenente e Sengés. 52 p. jun. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – 2**: chapas de madeira aglomerada – parte 2 – requisitos. Rio Janeiro, 2013. 81 p.

BARROS FILHO, R.M. **“Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melanina formaldeído”**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Rede Temática em Engenharia de Materiais - REDEMAT (UFOP, CETEC, UEMG), Ouro Preto, MG. 2009.

BERNECK S.A. **Resumo público 2019**: Gilson Mueller Berneck e Florestal Segundo Planalto. 15 p. 2019.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C.; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida* spp.). **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 623 – 630, 2012. DOI: 10.1590/S0104-77602012000400012.

BIAZUS, A.; HORA, A.B.; LEITE, B.G. Panorama de mercado: painéis de madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n.32. p.49-90, 2010.

CABRAL, C. P.; VITAL, B. R.; LUCIA, R. M. D.; PIMENTA, A. S. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus* spp. e *Pinus elliottii*. **Árvore**, v. 31, n. 5, p. 897 – 905, 2007. DOI: 10.1590/S0100-67622007000500014.

CARVALHO, A. G.; LELIS, R. C. C.; NASCIMENTO, A. M. Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 479- 489, 2014. DOI: 10.5902/1980509814588.

CARVALHO, A. G.; ZANUNCIO, A. J. V.; MENDES, R. F.; MORI, F. A.; SILVA, M. G.; MENDES, L. M. Adesivos tânicos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville na

produção de painéis aglomerados. *Árvore*, v. 38, n. 1, p. 195 – 202, 2014. DOI: 10.1590/S0100-67622014000100019.

CHAGAS, F.B.; MATTOS, R.L.G; GONÇALVES, R.M. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectiva. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

FARIA, D. L.; FURTINI, A. C.; FERREIRA, J. C.; OLIVEIRA, K. M.; JÚNIOR, J. B. G. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com sabugo de milho. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15 n. 27, p. 1361 – 1369, 2018. DOI: 10.18677/EnciBio\_2018A117.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Adhesives with wood materials: bond formation and performance. In: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Ed. Centenária. Madison: USDA, 2010. p. 10-1; 10-24.

FOREST STEWARDSHIP COUNCIL (FSC). Public certificate search, 2020. Disponível em: <<https://info.fsc.org/certificate.php?lang=POR>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

HAFEZI, S. M.; ENAYATI, A.; HOSSEINI, K. D.; TARMIAN, A.; MIRSHOKRAIL, S. A. Use of amino silane coupling agent to improve physical and mechanical properties of UF-bonded wheat straw (*Triticum aestivum* L.) poplar wood particleboard. *Journal of Forestry Research*, 427-431 p., 2015.

HSU, Q. E. “A process for stabilizing waferboard/OSB,” in Proceedings of Particleboard Symposium, p. 219–236, Washington State University, Washington, DC, USA, 1987.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Ibá 2020**. Brasília, 2020. 66 p.

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

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. *Floresta*, v. 38, n. 3, p. 487 - 493, 2008. DOI: 10.5380/ufpr.v38i3.12414.

IWAKIRI, S.; ZELLER, F.; PINTO, J. A.; RAMIREZ, M. G. L.; SOUZA, M. M.; SEIXAS, R. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. *Acta amazonica*, v. 40, n. 2, p. 303 – 308, 2010. DOI: 10.1590/S0044-59672010000200008.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; RAIA, R. Z.; KEINERT, A. C.; PAULA, C. R. P.; PROTZEK, G. R.; KOBYLARZ, R.; SCHWEITZWER, V. R. Produção de painéis aglomerados de *Hevea brasiliensis* (Clone RRIM 600) em mistura com três espécies de *Eucalyptus* utilizadas pelas indústrias de São Paulo. *Scientia Forestalis*, v. 46, n. 117, p. 31-39, 2018. DOI: 10.18671/scifor.v46n117.03.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; SILVA, A. L.; STÜPP, A. M.; CABRAL, B. M.; VIEIRA, H. C. Evaluation of physical and mechanical properties of particleboard produced from wood of *Cupressus torulosa* in mixture with *Pinus taeda*. *FLORESTA*, v. 50, n. 3, p. 1478 - 1485, 2020. DOI: 10.5380/ufpr.v50i3.61971.

KLASNJA, B.; KOPITOVIC, S.; ORLOVIC, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 331-337, 2003. DOI: 10.1007/s00226-003-0179-3.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**: volume 1 – Materials. London: Southern Illinois University Press, 1974. 244 p.

NAPOLI, L. M.; SANCHES, L. F.; IWAKIRI, S.; HILLIG, E. Propriedades físicas da madeira e de painéis aglomerados produzidos com misturas de espécies florestais. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 475 - 484, 2013. DOI: 10.5380/ufv.v43i3.26204.

NOURBAKHS, A. Mechanical and Thickness Swelling of Particleboard Composites Made from Three-Year-Old Poplar Clones. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 29, n. 4, p. 481-489, 2010.

PEREIRA, G. F.; RIOS, P. D.; BUSS, R.; VIEIRA, H. C.; GRUBERT, W.; CUNHA, A. B.; BELINI, U.L. Painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus badius* e *Pinus* spp. **Scientia Forestalis**, v. 45, n. 114, p. 373-382, 2017. DOI: 10.18671/scifor.v45n114.13.

RIOS, P. D.; PEREIRA, G. F.; VIEIRA, H. C.; GRUBERT, W.; CUNHA, A. B.; BRAND, M. A. Avaliação do potencial da madeira de *Pinus patula* Schltdl. & Cham para a produção de painéis de madeira aglomerada. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 110, p. 497-508, 2016. DOI: 10.18671/scifor.v44n110.22.

SANCHES, F. L.; HILLIG, E.; IWAKIRI, S.; NAPOLI, L. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 559-569, 2016. DOI: 10.5902/1980509822756.

SOZIM, P. C. L.; NAPOLI, L. M.; FERRO, F. S.; MUSTEFAGA, E. C.; HILLIG, E. Propriedades de painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Ligustrum lucidum* e *Pinus taeda*. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 39, p. 1-8, 2019. DOI: 10.4336/2019.pfb.39e201801696.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 91, p. 343 – 350, 2011.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 57 – 64, 2013. DOI: 10.18671/scifor.v44n110.21.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. **Madera y Bosques**, v. 20, n. 3, p. 49 – 58, 2014.

TRIANOSKI, R.; PICCARDI, A. B. R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na produção de painéis aglomerados de *Pinus*. **Floresta**, v.46, n. 2, p. 259-267, 2016. DOI: 10.1590/2179-8087.141515.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MACHADO, L.; ROSA, T. S. Feasibility of *Cordia trichotoma* (Vell.) wood and its by-products for particleboard manufacturing. **Journal of Sustainable Forestry**, p. 1 – 14, 2017. DOI: 10.1080/10549811.2017.1381028.

VITAL, B. R., HASELEIN, C. R. & DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden). **Árvore**, v.16, n.1, p. 88-96, 1992.

## CAPÍTULO 4 – LAMINAÇÃO E PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS COM MADEIRA DE *Populus deltoides*

**Resumo:** O objetivo deste estudo foi avaliar o processo de laminação das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 10 e 12 anos, produção e a qualidade de painéis compensados confeccionados com a madeira de *Populus deltoides* pura ou em combinação com *Pinus taeda* e com diferentes tipos de resina. Determinaram-se a densidade básica da madeira e o rendimento efetivo, juntamente com as perdas ocorridas no processo de laminação, bem como a qualidade das lâminas obtidas. Dos painéis compensados confeccionados com lâminas de *Populus deltoides* pura ou em combinação com *Pinus taeda* e as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, realizaram-se os ensaios de densidade aparente, teor de umidade, absorção, inchamento e inchamento residual, flexão estática e cisalhamento. A madeira de *Populus deltoides* apresentou densidade básica próxima a madeira do gênero *Pinus*, tradicionalmente utilizada para laminação e produção de painéis compensados. Maior rendimento efetivo e melhor qualidade das lâminas, foram obtidos para a madeira com 12 anos, atribuindo estes resultados ao maior diâmetro das toras nesta idade. Já a ocorrência de orifícios resultante do ataque de *Platypus* spp. em maior proporção na madeira com 10 anos, comprometeu a qualidade das lâminas obtidas. A utilização de lâminas de *Populus deltoides* para a produção de painéis compensados com ambas as resinas, proporcionou melhores propriedades físicas e mecânicas, principalmente na qualidade da colagem, demonstrando o potencial de uso da madeira desta espécie pura ou em combinação com madeira de *Pinus taeda* na produção deste tipo de painel.

Palavras-chave: álamo; lâminas; painéis; uréia-formaldeído; fenol-formaldeído.

### POTENTIAL OF *Populus deltoides* WOOD FOR LAMINATION AND PRODUCTION OF PLAYWOOD PANELS WITH DIFFERENT RESINS

**Abstract:** The objective of this study was to evaluate the laminating process of *Populus deltoides* wood at the ages of 10 and 12 years, production and the quality of plywood panels made with pure *Populus deltoides* wood or in combination with *Pinus taeda* and with different types of resin. The basic density of the wood and the effective yield were determined, together with the losses occurred in the lamination process, as well as the quality of the veneers obtained. From the plywood panels made with veneers of pure *Populus deltoides* or in combination with *Pinus taeda* and the urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde resins, the tests of apparent density, moisture content, absorption, swelling and residual swelling, static bending and shear were performed. The wood of *Populus deltoides* showed basic density close to the wood of the *Pinus* genus, traditionally used for lamination and production of plywood panels. Higher effective yield and better quality of the veneers were obtained for wood with 12 years, attributing these results to the larger diameter of the logs at this age. The occurrence of orifices resulting from the attack by *Platypus* spp. in greater proportion in the wood with 10 years, it compromised the quality of the obtained veneers. The use of veneers of *Populus deltoides* for the production of plywood panels with both resins, provided better physical and mechanical properties, mainly in the quality of the bonding, demonstrating the potential use of the wood of this pure species or in combination with *Pinus taeda* wood in production of this type of panel.

Keywords: poplar; lamination; plywood; urea- formaldehyde; phenol- formaldehyde.

## 1 INTRODUÇÃO

O painel compensado é confeccionado empregando-se lâminas finas (0,13 a 6,35 mm), coladas perpendicularmente umas sobre as outras em número ímpar de camadas (DIAS; LAHR, 2003; IWAKIRI, 2005). A necessidade de montar um painel com número ímpar de camadas se deve ao fato da madeira ser um material anisotrópico, além da melhoria da estabilidade dimensional e da melhor distribuição da resistência nos sentidos longitudinal e transversal do painel (IWAKIRI, 2005; THOEMEN et al., 2010). Suchsland (1972) complementou que o balanceamento estrutural pode ser alcançado mesmo utilizando lâminas de espécies e espessuras diferentes, desde que o plano de simetria seja mantido para o equilíbrio de parâmetros elásticos entre as lâminas que constituem o painel.

Quanto ao processo de laminação para posterior produzir painéis compensados, espécies de madeiras consideradas adequadas para tal uso apresentam densidade variando entre 0,38 e 0,70 g.cm<sup>-3</sup> (WALKER, 1993). Bortoletto Junior (2003) justificou que esta faixa de valores é apropriada pela facilidade de laminar a madeira, não sendo um indicativo da qualidade das lâminas que podem ser geradas.

Desde a década de 1990 as espécies *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* são as principais matérias-primas empregadas na confecção de lâminas de madeira para fabricação de compensados, além de espécies de folhosas provenientes de reflorestamento e de florestas nativas (IWAKIRI et al., 2011; VIEIRA et al., 2012; PINTO; IWAKIRI, 2013; MENDONZA et al., 2017). A resina empregada para a colagem das lâminas é definida com base no seu uso final. A uréia-formaldeído é utilizada na confecção de painéis destinados a ambientes internos, enquanto que a fenol-formaldeído, em painéis para ambientes externos, devido sua alta resistência à umidade (IWAKIRI et al., 2012; SILVA et al., 2012).

Com o intuito de se obter um painel compensado econômico, de boa aparência, com propriedades físico-mecânicas adequadas e utilizando efetivamente a matéria-prima disponível, o mesmo pode ser composto de duas ou mais espécies (NAUTIYAL; GAUTAM, 2015; TRIANOSKI; IWAKIRI, 2018).

Nautiyal e Gautam (2016) em pesquisa sobre o desenvolvimento de uma nova combinação de espécies para a produção de painéis compensado de três camadas, utilizaram a pressão de 14 kgf.cm<sup>-2</sup> e 17 kgf.cm<sup>-2</sup>, lâminas de *Melia composita* e *Populus deltoides* e resina fenol-formaldeído. Os autores relataram que a variação da pressão não interferiu nos

resultados obtidos para resistência ao cisalhamento, e que a utilização de *Populus deltoides* como capa e contracapa proporcionou melhores resultados para tal propriedade.

Öncel et al. (2019) em estudo realizado sobre diferentes composições de painéis compensados e sua influência na qualidade de colagem, utilizaram lâminas de *Populus deltoides* combinada com as espécies *Alnus glutinosa*, *Pinus sylvestris* e *Abies nordmanniana* subsp. *Bornmuelleriana*, resina fenol-formaldeído e 7 kgf.cm<sup>-2</sup> de pressão. Os autores concluíram com base nos resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento da linha de cola, que todos os painéis produzidos são adequados para uso externo.

Visando consolidar a qualidade da madeira de *Populus deltoides* para a utilização em outros produtos, este trabalho teve como objetivo avaliar o processo de laminação das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 10 e 12 anos, produção e a qualidade de painéis compensados confeccionados com lâminas de *Populus deltoides* pura ou em combinação com *Pinus taeda* coladas com diferentes tipos de resina.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a laminação e a produção dos painéis compensados, foi utilizada a primeira tora obtida de cada árvore de *Populus deltoides* nas idades de 10 e 12 anos, conforme descrito no item 3 MATERIAL e ilustrado na Figura 2 (pgs. 4-7).

A determinação da densidade básica da madeira foi realizada conforme a norma NBR 11941 (ABNT, 2003), sendo utilizados os discos de 5 cm de espessura retirados nas extremidades das toras (ver item 3 MATERIAL e FIGURA 2, pgs. 4-7). As toras passaram por cozimento a vapor em lona e foram encaminhadas ao torno desfolhador tracionado sem garra, para a obtenção de lâminas com dimensões de 70 cm x 70 cm x 0,3 cm. O diâmetro de rolo resto adotado foi 3,5 cm (FIGURA 26).

Em seguida, as lâminas foram inseridas em um secador contínuo com temperatura ajustada para 120 °C de temperatura, permanecendo no interior do mesmo por cerca de 30 a 40 minutos até atingirem teor de umidade de 5% (FIGURA 26). Ao término desta etapa, as lâminas foram classificadas com base na norma NBR ISO 2426-2 (ABNT, 2006). A classificação consiste na análise do tipo, quantidade e dimensões dos defeitos existentes na superfície da lâmina, de acordo com o especificado pela referida norma para as classes de qualidade E, I, II, III e IV.

Para a determinação das perdas referentes ao descascamento e arredondamento das toras, rolo resto, perdas por manuseio e lâminas segregadas e perda total, além do rendimento

efetivo, foi realizada a cubagem das toras com casca antes da laminação; sem casca após o arredondamento; e do rolo resto ao final do processo de laminação. Também, realizou-se a contagem das lâminas obtidas para cada tora, bem como aferidas suas dimensões (TAVARES et al., 2018). Para determinar o fator de conicidade da tora, empregou-se a Equação 1 apresentada no trabalho de Bonduelle et al. (2006), onde se fez necessário para o cálculo, valores referentes aos diâmetros das ponteiros da tora sem casca.

$$\text{Fator conicidade} = \frac{D2}{D1} \quad (1)$$

Onde:

D1 = diâmetro maior (cm)

D2 = diâmetro menor (cm)

FIGURA 26 – LAMINAÇÃO DAS TORAS E SECAGEM DAS LÂMINAS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – cozimento das toras; B – laminação das toras em torno desfolhador tracionado sem garra; C – seccionamento do tapete de lâminas; D – secagem das lâminas em secador contínuo; E – medição da umidade das lâminas.

De posse das lâminas secas e classificadas, juntamente com lâminas de *Pinus taeda* adquiridas numa indústria do município de Irati-PR, as quais também foram classificadas de acordo com a NBR ISO 2426-3 (ABNT, 2006), foram confeccionados os painéis compensados compostos de cinco lâminas e espessura nominal de 15 mm, conforme

apresentado na Tabela 17. Para capa foram utilizadas lâminas de classe E, e para o miolo, lâminas classificadas como I e II. A idade das árvores não foi adotada como fator.

TABELA 17 - COMPOSIÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS.

Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)	Resina	Repetição
<i>Populus deltoides</i>	Uréia-formaldeído	3
<i>Pinus taeda</i>	Uréia-formaldeído	3
<i>Populus deltoides/Pinus taeda</i>	Uréia-formaldeído	3
<i>Pinus taeda /Populus deltoides</i>	Uréia-formaldeído	3
<i>Populus deltoides</i>	Fenol-formaldeído	3
<i>Pinus taeda</i>	Fenol-formaldeído	3
<i>Populus deltoides/Pinus taeda</i>	Fenol-formaldeído	3
<i>Pinus taeda /Populus deltoides</i>	Fenol-formaldeído	3

FONTE: A autora (2020).

A batida de cola para a resina uréia-formaldeído foi formulada a partir de 100 partes por peso de resina, 50 partes de farinha de trigo, 50 partes de água e o catalisador sal de sulfato de amônia na proporção de 1% sobre o peso da resina. Quanto a resina fenol-formaldeído, foi utilizada a seguinte formulação: 100 partes por peso de resina, 10 partes de farinha de trigo e 15 partes de água (IWAKIRI, 2005).

As resinas foram aplicadas em linha de cola simples na gramatura de 160 g.m<sup>-2</sup>, e os painéis foram montados adotando-se o princípio de laminação cruzada. O tempo de montagem foi 15 minutos e, após esse período, os painéis foram prensados com em prensa hidráulica com temperatura de 110 °C para a resina uréia-formaldeído e 140 °C para fenol-formaldeído. Para ambas as resinas, foi utilizada a pressão de 12 kgf.cm<sup>-2</sup> e o tempo de prensagem de 15 minutos (ABIMCI, 2009) (FIGURA 27).

Após a prensagem, os painéis foram condicionados em câmara climatizada com umidade relativa de 65±5% e temperatura de 20±3 °C até atingiram teor de umidade de equilíbrio. Dos painéis, foram extraídos corpos de prova para determinação das propriedades físicas que consistiram em densidade aparente, teor de umidade, absorção, inchamento e inchamento residual, conforme as recomendações das normas NBR 9485 (ABNT, 2011), NBR 9484 (ABNT, 2011), NBR 9486 (ABNT, 2011) e NBR 9535 (ABNT, 2011). Também se determinou as propriedades mecânicas dos painéis através dos ensaios de flexão estática e cisalhamento conforme as recomendações das normas NBR 9533 (ABNT, 2012), NBR ISO 12466-1 (ABNT, 2012) e NBR ISO 12466-2 (ABNT, 2012) (FIGURA 28). Após a execução do ensaio de cisalhamento foi feita a leitura visual da porcentagem de falha na madeira para cada corpo de prova, conforme as recomendações das normas citadas anteriormente para tal ensaio.

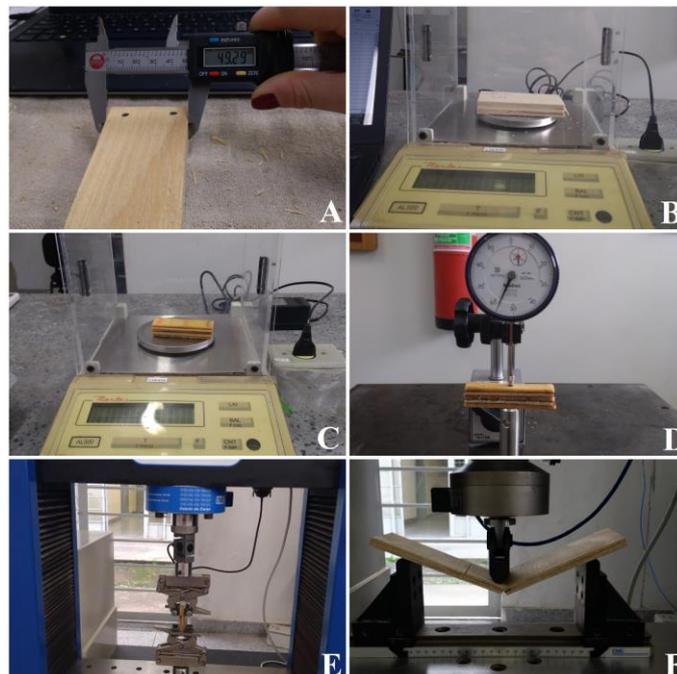
FIGURA 27 – PRODUÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – Batida de cola; B – Aplicação da cola nas lâminas; C – montagem do painel; D – prensagem do painel em prensa de pratos com aquecimento elétrico.

FIGURA 28 – ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS DOS PAINÉIS COMPENSADOS.



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: A – Medição das dimensões do corpo de prova com auxílio de um paquímetro digital para determinação da densidade aparente; B – pesagem do corpo de prova em balança analítica de precisão para determinação da densidade e do teor de umidade; C – pesagem do corpo de prova em balança analítica de precisão para determinação da absorção de água; D – medição da espessura do corpo de prova com auxílio de um micrometro digital para determinação do inchamento e inchamento residual; E – ensaio de cisalhamento; F – ensaio de flexão estática.

Para os valores obtidos referentes ao diâmetro da tora com casca, as perdas e ao rendimento efetivo do processo de laminação, foi calculado a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação para cada idade estudada.

Para as propriedades físicas e mecânicas obtidas para os painéis compensados produzidos com uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, a comparação dos valores foi realizada por meio de um delineamento inteiramente casualizado considerando-se como tratamentos as quatro combinações de lâminas para capa e miolo do painel (*Populus deltoides*; *Pinus taeda*; *Populus deltoides*/*Pinus taeda*; *Pinus taeda*/*Populus deltoides*), com 12 repetições para flexão estática; 15 repetições para densidade aparente, teor de umidade e absorção de água; 18 repetições para inchamento e inchamento residual; e 36 repetições para cisalhamento. Dessa maneira, os valores obtidos para as propriedades físico-mecânicas foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: teste de *Kolmogorov Smirnov* para analisar a normalidade dos dados; teste de *Levene* para analisar a homogeneidade das variâncias; comprovada a normalidade e a homogeneidade das variâncias, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA); havendo rejeição da hipótese de igualdade pela ANOVA, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DENSIDADE BÁSICA, PERDAS E RENDIMENTO EFETIVO DA LAMINAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS

As madeiras de *Populus deltoides* com 10 e 12 anos de idade, apresentaram densidade básica de 0,39 e 0,40 g.cm<sup>-3</sup>, sendo compatível a 0,38 g.cm<sup>-3</sup> de densidade básica relatado por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003) para as madeiras de clones de *Populus deltoides* com 4 anos de idade. O fato das madeiras em estudo apresentarem densidade básica muito próxima da obtida para a mesma espécie por Klasnja, Kopitovic e Orlovic (2003), porém com idade bem inferior, pode ser justificada pela influência que está propriedade sofre das proporções de lenho juvenil e lenho adulto, cerne e alburno, do teor de extrativos, entre outros (GLASS; ZALINKA, 2010).

A densidade básica obtida para as madeiras de *Populus deltoides* em ambas as idades, são próximas aos valores de 0,35 e 0,42 g.cm<sup>-3</sup> relatados para a madeira de *Pinus taeda* na idade de 12 anos e para a madeira de *Pinus elliottii*, espécies comumente utilizadas na fabricação de painéis compensados (MACHADO et al., 2018; TAVARES et al., 2018).

Na Tabela 18 são apresentados os valores médios de diâmetro da tora com casca, fator de conicidade, rendimento efetivo, perdas por descascamento e arredondamento, perdas de rolo resto, perdas por manuseio e lâminas segregadas e perda total, ocorridas no processo de laminação das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 10 e 12 anos.

TABELA 18 – RENDIMENTO EFETIVO E PERDAS DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO DA MADEIRA DE *Populus deltoides*.

Idade (anos)	Árvore	D1 (cm)	D2 (cm)	FC	RE (%)	P1 (%)	P2 (%)	P3 (%)	PT (%)
10	1	26,00	23,00	0,86	62,28	28,01	2,04	7,66	37,71
	2	24,5	20,00	0,81	48,44	45,19	2,47	3,9	51,56
	3	25,00	22,50	0,89	59,2	31,26	2,17	7,37	40,80
<b>Média</b>		<b>25,17</b>	<b>21,83</b>	<b>0,85</b>	<b>56,64</b>	<b>34,82</b>	<b>2,22</b>	<b>6,31</b>	<b>43,36</b>
<b>Desvio padrão</b>		0,76	1,15	0,04	7,27	9,13	0,22	2,10	7,27
<b>Coefficiente de variação (%)</b>		3,03	5,25	4,88	12,83	26,21	9,85	33,20	16,76
12	1	31,00	28,50	0,91	64,91	25,42	1,38	8,29	35,06
	2	32,00	28,50	0,91	64,21	28,46	1,34	5,99	35,78
	3	27,50	24,50	0,87	63,22	28,48	1,81	6,49	36,78
<b>Média</b>		<b>30,17</b>	<b>27,17</b>	<b>0,89</b>	<b>64,11</b>	<b>27,45</b>	<b>1,51</b>	<b>6,92</b>	<b>35,89</b>
<b>Desvio padrão</b>		2,36	2,31	0,02	0,85	1,76	0,26	1,21	0,85
<b>Coefficiente de variação (%)</b>		7,83	8,50	2,63	1,33	6,42	17,27	17,43	2,38

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: D1 e D2 – diâmetro da tora com casca; FC – fator de conicidade; RE – rendimento efetivo; P1 – perdas por descascamento e arredondamento; P2 – perdas de rolo resto; P3 – perdas por manuseio e lâminas segregadas.

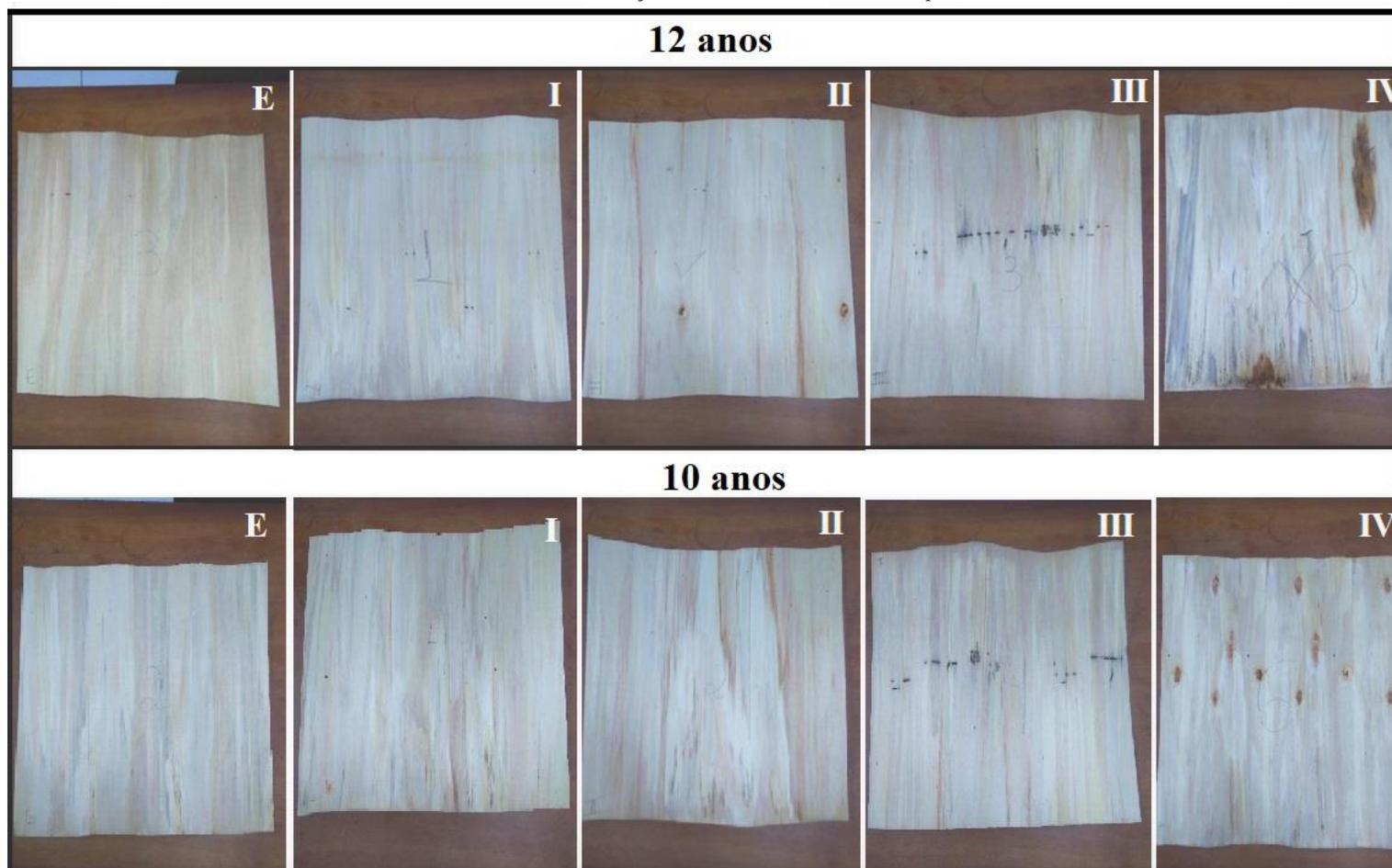
O rendimento efetivo médio de 56,64% e 64,11% obtido para as madeiras de *Populus deltoides* com 10 e 12 anos é superior a 40,96%, valor relatado por Tavares et al. (2018) para *Pinus taeda* com 12 anos de idade e diâmetro na classe de 23,00 – 32,99 cm, constatando-se que o rendimento encontrado pelos autores foi afetado em parte pelas perdas ocorridas pelo rolo resto (16,17%), atribuída ao tipo de equipamento utilizado, no caso torno tradicional com fuso de 8 cm de diâmetro. Segundo Monteiro (2013) e Melo et al. (2014) o avanço tecnológico do torno tradicional com fuso para o torno desfolhador tracionado sem garras, o qual é movido por rolos que pressionam a tora contra a faca, propiciou ganhos no rendimento do processo de laminação devido a possibilidade de se trabalhar com rolo resto de menor diâmetro.

Rendimento menor e perdas superiores ao presente trabalho foram obtidos por Machado et al. (2018) ao estudarem a madeira de *Cecropia palmata* com idade variando de 16 e 19 anos e densidade básica de 0,37 g.cm<sup>-3</sup>. Os autores obtiveram 46,37% de rendimento, 9,37% de perdas por arredondamento, 25,37% de perdas pelo rolo resto e 18,90% para perdas diversas. De acordo com Bortoletto Junior (2008), “as perdas referentes à operação de arredondamento estão relacionadas à conicidade, a qual é mais acentuada quanto mais próxima da base da árvore a tora se encontrar”. Bortoletto Junior e Belini (2002) complementaram que as perdas relacionadas à conicidade da árvore podem ser minimizadas

“através da seleção de matrizes com boa forma de fuste, bem como do correto acompanhamento da implantação e condução dos povoamentos”.

A obtenção de maior rendimento efetivo para a madeira de *Populus deltoides* na idade de 12 anos em relação a de 10 anos, está atrelado ao fato de árvores mais velhas apresentam maiores diâmetros além de uma tendência em apresentar melhores características tecnológicas (SILVA et al., 2015).

Na Figura 29 é possível observar uma lâmina típica representativa de cada classe de qualidade para as madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 12 e 10 anos.

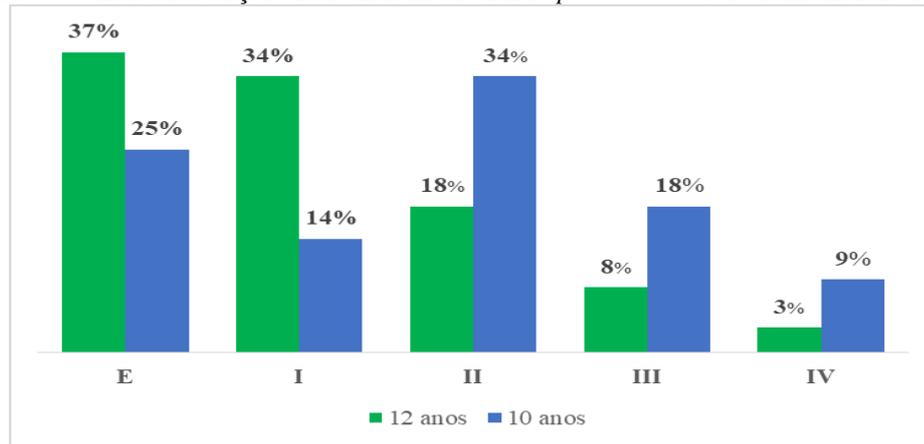
FIGURA 29 – CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS DE *Populus deltoides*.

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: E, I, II, III e IV – classes de qualidade da lâmina determinadas de acordo com a norma NBR ISO 2426-2 (ABNT, 2006).

Em relação à classificação das lâminas de árvores de *Populus deltoides* com 12 anos de idade, foi obtido maior percentual na classe E, seguido de um decréscimo nas demais classes inferiores (Figura 30). A classe de qualidade E, caracteriza-se de acordo com a norma NBR 2426-2 (ABNT, 2006) por apresentar praticamente ausência de nós, fendas, irregularidade na estrutura e descoloração, além de não se admitir anomalias causadas por insetos, xilófagos marinhos, parasitas vegetais, e fungos que destroem a madeira.

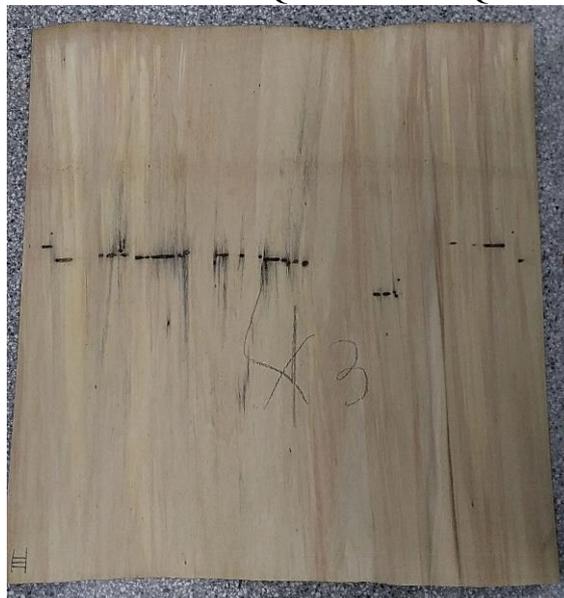
FIGURA 30 – CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS DE *Populus deltoides* POR IDADE ESTUDADA.



FONTE: A autora (2020).

Para a idade de 10 anos, não se constatou a tendência de decréscimo igualmente à obtida para 12 anos, totalizando-se o maior número de lâminas na classe II. Esta variação, pode ser explicada pelo fato desta espécie sofrer ataque do *Platypus* sp. (JAVARINI, 2011), comprometendo a qualidade das lâminas obtidas, como pode ser visualizado na Figura 31.

FIGURA 31 – LÂMINA COM RESQUÍCIO DO ATAQUE DE *Platypus* sp.



FONTE: A autora (2018).

Uma das principais pragas de árvores vivas de *Populus deltoides*, que já causou muitos prejuízos principalmente em plantios na Argentina, denomina-se como *Megaplatypus mutatus* ou *Platypus mutatus* como também é chamada, pertence a ordem Coleóptera, e caracteriza-se por formar galerias e por causar manchas, devido a decomposição dos micélios do fungo cultivado para alimentação na fase larval, prejudicando a qualidade da madeira (GIRARDI; GIMÉNEZ; BRAGA, 2006; ALFARO et al., 2007; CARVALHO FILHO; TEIXEIRA; CONFORTI, 2008; VILLACIDE; CORLEY, 2009).

### 3.2 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO

As propriedades de densidade aparente, teor de umidade, absorção, inchamento e inchamento residual, apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 19).

TABELA 19 – PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO.

Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)	DA (g.cm <sup>-3</sup> )	TU (%)	E (mm)	A (%)	I (%)	IR (%)
<i>Populus deltoides</i>	0,49 b (4,43)	11,39 a (1,72)	13,37 c (0,60)	68,85 b (11,13)	11,12 a (10,20)	6,53 a (19,28)
<i>Pinus taeda</i>	0,52 a (5,58)	11,01 b (2,92)	14,44 a (1,00)	69,86 b (6,62)	8,00 b (27,85)	3,71 b (56,21)
<i>Populus deltoides</i> / <i>Pinus taeda</i>	0,50 ab (5,34)	11,23 ab (3,02)	13,68 b (1,04)	79,55 a (6,01)	6,50 b (17,22)	2,79 b (43,95)
<i>Pinus taeda</i> / <i>Populus deltoides</i>	0,52 a (4,58)	11,11 b (1,33)	13,73 b (0,75)	69,36 b (13,73)	7,77 b (19,53)	2,84 b (38,46)
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	0,064	0,200	0,051	0,200	0,200	0,200
<b>Levene</b>	0,601	0,051	0,583	0,138	0,380	0,068
<b>Anova</b>	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: DA – densidade aparente; TU – teor de umidade; E - espessura; A – absorção; I – inchamento; IR – inchamento residual.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Os painéis confeccionados com *Populus deltoides* apresentaram a menor espessura final em relação a espessura nominal de 15 mm, fato este atribuído ao processo de prensagem, onde a combinação de pressão e calor juntamente com a sua menor densidade levou a uma maior compactação. Como consequência, ocorre maior formação de tensões internas de compressão, as quais foram liberadas quando estes entraram em contato com a água, como pode ser observado pelos valores de inchamento residual. Variação semelhante foi observada

por Tavares et al. (2020) para painéis produzidos com *Pinus taeda* e *Pinus patula* colados com resina uréia-formaldeído, em dois tipos de arranjo de lâminas na composição.

Para painéis de pinus com 15 mm de espessura formados por 5 lâminas, a ABIMCI (2002) estabelece valores mínimos de 0,47 g.cm<sup>-3</sup> e 11% referente as propriedades densidade aparente e teor de umidade. Os valores médios de 0,49 a 0,52 g.cm<sup>-3</sup> e 11,05 a 11,39% obtidos para tais propriedades são próximos aos padrões de qualidade estabelecidos pela ABIMCI (2002).

Em relação às propriedades mecânicas, foram constatadas diferenças estatísticas significativas (Tabela 20), destacando-se que os painéis produzidos com lâminas de *Populus deltoides*, puros ou em combinação com lâminas de *Pinus taeda*, apresentaram maiores valores médios de MOR e MOE no sentido paralelo, quando comparados aos confeccionados somente com lâminas de *Pinus taeda*. Este fato foi atribuído a menor densidade da madeira de *Populus deltoides*, o que levou a maior compactação do painel e mobilidade da resina, proporcionando melhor colagem e resistência.

TABELA 20 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM URÉIA-FORMALDEÍDO.

Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)	Flexão Estática				Cisalhamento na Linha de Cola	
	Paralelo		Perpendicular		Úmido	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TR (MPa)	F (%)
<i>Populus deltoides</i>	52,61 a (13,19)	7041,79 a (20,84)	21,09 a (17,52)	1775,70 b (3,44)	1,13 a (23,44)	17,00
<i>Pinus taeda</i>	29,05 c (24,54)	3831,20 b (29,32)	13,85 b (6,32)	1305,13 bc (19,71)	0,81 b (25,88)	13,00
<i>Populus deltoides / Pinus taeda</i>	39,13 b (7,34)	4766,68 b (10,24)	13,37 b (4,49)	1209,11 c (13,53)	0,88 b (25,98)	33,00
<i>Pinus taeda / Populus deltoides</i>	34,84 bc (19,18)	5273,64 ab (32,88)	24,64 a (27,33)	2276,20 a (23,30)	1,21 a (24,42)	9,00
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	0,200	0,200	0,200	0,176	0,053	-
<b>Levene</b>	0,264	0,082	0,236	0,072	0,726	-
<b>Anova</b>	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	-

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; TR – tensão de ruptura; F – falha na madeira.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Os valores de 0,81 MPa e 0,88 MPa de tensão de ruptura obtidos para os painéis de *Pinus taeda* e *Populus deltoides/Pinus taeda* não apresentaram falha na madeira equivalente ou superior a 40% conforme recomendado pela norma EN 314-2 (EN,1993) para a faixa de 0,6 a 1 MPa. No entanto, ressalta-se que a referida norma não apresenta valor mínimo de falha na madeira para tensão acima de 1 MPa.

Em comparação aos valores mínimos de 21,68 MPa e 4562,94 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade no sentido paralelo, 11,38MPa e 1689,98 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade no sentido perpendicular e 0,78 MPa de tensão de ruptura após pré-tratamento úmido, recomendados pela ABIMCI (2002) para painéis de pinus, obteve-se neste estudo valores superiores para quase todas as propriedades mecânicas, conforme apresentado na Tabela 20.

DemirKir, Öztürk e Çolakoğlu (2017) obtiveram valores superiores de propriedades mecânicas para painéis compensados de 3 camadas produzidos com lâminas de *Populus deltoides*, resina uréia-formaldeído e pressão específica de 8 kgf.cm<sup>-2</sup>. Os autores obtiveram painéis com densidade aparente de 0,50 g.cm<sup>-3</sup>, com resistência ao cisalhamento na linha de cola de 1,30 MPa, e módulo de ruptura e módulo de elasticidade a flexão estática no sentido paralelo de 89,96 MPa e 6950 MPa, respectivamente.

### 3.3 PROPRIEDADES DOS PAINÉIS COMPENSADOS PRODUZIDOS COM RESINA FENOL-FORMALDEÍDO

Os valores médios de densidade aparente variaram de 0,47 a 0,54 g.cm<sup>-3</sup>, e o teor de umidade de 10,90 a 11,49% (Tabela 21), estando próximos aos valores mínimos de 0,47 g.cm<sup>-3</sup> e 11% exigidos pelos padrões de qualidade da ABIMCI (2002) para painéis compensados de pinus com 15 cm de espessura formados por 5 lâminas. Para as demais propriedades físicas, também foi constatado a influência da densidade da madeira de *Populus deltoides* na prensagem dos painéis, levando a sua maior compressão e formação de tensões internas. Como consequência, obteve-se menor espessura dos painéis (13,40 mm), além de valores superiores de absorção (82,92%). Com exceção do inchamento residual, foram constatadas diferenças estatísticas significativas para todas as propriedades físicas (Tabela 21).

TABELA 21 – PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM FENOL-FORMALDEÍDO.

Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	TU (%)	E (mm)	A (%)	I (%)	IR (%)
<i>Populus deltoides</i>	0,47 c (4,99)	10,90 b (3,28)	13,40 d (0,98)	82,92 a (4,11)	7,18 ab (9,02)	0,81 a (71,35)
<i>Pinus taeda</i>	0,54 a (3,32)	11,28 a (2,75)	13,82 c (0,95)	63,41 c (9,53)	6,44 b (13,49)	1,33 a (74,71)
<i>Populus deltoides/Pinus taeda</i>	0,48 bc (5,76)	11,22 a (3,30)	14,51 a (0,54)	74,92 b (10,88)	7,64 ab (13,18)	1,52 a (56,06)
<i>Pinus taeda /Populus deltoides</i>	0,50 b (6,92)	11,49 a (2,03)	14,12 b (0,91)	68,50 c (8,21)	7,82 a (18,30)	2,05 a (64,19)
<i>Kolmogorov Smirnov</i>	0,087	0,200	0,200	0,200	0,200	0,146

<b>Levene</b>	0,219	0,213	0,058	0,068	0,293	0,141
<b>Anova</b>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,036	0,172

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: DA – densidade aparente; TU – teor de umidade; A – absorção; I – inchamento; IR – inchamento residual; FE – flexão estática.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

Para módulo de ruptura paralelo e perpendicular, módulo de elasticidade paralelo e tensão de ruptura para cisalhamento na linha de cola após pré-tratamento úmido, os valores obtidos para os painéis compensados foram estatisticamente não significativos, como pode ser visualizado na Tabela 22. Já para o módulo de elasticidade perpendicular e tensão de ruptura para cisalhamento na linha cola após pré-tratamento fervura, foi constatada diferença estatística significativa, destacando-se que a melhor colagem foi obtida para os painéis produzidos apenas com lâminas de *Populus deltoides* ou em mistura, em relação aos painéis de *Pinus taeda*.

Ao se comparar os valores obtidos para as propriedades mecânicas no presente estudo aos valores mínimos especificados pela ABIMCI (2002) para painéis de pinus, tem-se em sua maioria valores superiores a 21,68 MPa e 4562,94 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade no sentido paralelo, 11,38MPa e 1689,98 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade no sentido perpendicular e 0,78 MPa de tensão de ruptura após pré-tratamento úmido.

Valores superiores de propriedades mecânicas de painéis compensados de *Populus deltoides*, produzidos com fenol-formaldeído e pressão específica de 8 kgf.cm<sup>-2</sup>, foram obtidos por Demirkir et al. (2017), com médias de 84,57 MPa e 8502,56 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade em flexão estática paralelo. Öncel et al. (2019) produziram painéis com a mesma espécie e resina, porém com pressão específica de 7 kgf.cm<sup>-2</sup>, e obtiveram 1,34 MPa de tensão de ruptura de cisalhamento na linha de cola após pré-tratamento fervura conforme a norma EN 314-2 (1993), valor este superior a faixa de 0,81 a 1,10 MPa obtida para esta propriedade neste estudo.

As diferenças de valores das propriedades analisadas neste estudo em comparação as obtidas por outros trabalhos estão atreladas, de acordo com Iwakiri et al. (2012a) e Mendoza et al. (2017), a heterogeneidade e variabilidade das propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira, além da composição química da resina e dos parâmetros adotados para a produção dos painéis.

O fato dos valores relatados por Demirkir et al. (2017) e Öncel et al. (2019) serem superiores aos obtidos neste estudo, indica a possibilidade de se utilizar menor pressão específica para a prensagem de painéis compensados confeccionados com lâminas de *Populus deltoides*.

TABELA 22 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS COMPENSADOS CONFECCIONADOS COM FENOL-FORMALDEÍDO.

Composição de lâminas do painel (Capa/Miolo)	Flexão Estática				Cisalhamento na Linha de Cola			
	Paralelo		Perpendicular		Úmido		Fervura	
	MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TR (MPa)	F (%)	TR (MPa)	F (%)
<i>Populus deltoides</i>	48,71 a (8,55)	5746,01 a (14,35)	22,16 a (12,54)	1779,79 ab (14,38)	1,24 a (18,53)	49,00	1,10 a (24,15)	28,00
<i>Pinus taeda</i>	50,14 a (16,17)	5466,12 a (26,34)	21,01 a (20,44)	1778,58 ab (16,85)	1,10 a (24,05)	37,00	0,81 b (27,04)	20,00
<i>Populus deltoides / Pinus taeda</i>	46,45 a (16,54)	5189,46 a (14,70)	17,48 a (33,10)	1496,26 b (22,24)	1,37 a (24,41)	32,00	1,06 ab (33,74)	38,00
<i>Pinus taeda / Populus deltoides</i>	41,48 a (7,72)	6711,11 a (13,58)	21,78 a (25,48)	2062,26 a (13,19)	1,12 a (34,50)	38,00	0,94 ab (41,36)	38,00
<b>Kolmogorov Smirnov</b>	0,200	0,200	0,193	0,200	0,077	-	0,200	-
<b>Levene</b>	0,222	0,130	0,150	0,709	0,102	-	0,075	-
<b>Anova</b>	0,116	0,087	0,331	0,027	0,069	-	0,026	-

FONTE: A autora (2020).

LEGENDA: MOR – módulo de ruptura; MOE – módulo de elasticidade; TR – tensão de ruptura; F – falha na madeira.

NOTAS: médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; valor entre parênteses refere-se ao coeficiente de variação em percentagem.

## 4 CONCLUSÕES

As madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 10 e 12 anos apresentaram densidade básica próxima a madeira do gênero *Pinus*, tradicionalmente utilizada para a laminação e produção de painéis compensados.

Maior rendimento efetivo do processo de laminação foi obtido para a madeira de *Populus deltoides* com 12 anos de idade em relação a madeira com 10 anos, fato este atribuído ao maior diâmetro das toras laminadas. Quanto a classificação das lâminas, maior percentual de lâminas na classe E foi obtido para a idade de 12 anos, enquanto que para a idade de 10 anos obteve-se maior número de lâminas na classe II, atribuindo esta diferença da classificação entre as idades, ao ataque do coleóptero *Platypus* sp. em árvores vivas de *Populus deltoides*, comprometendo a qualidade das lâminas de madeira.

A utilização de lâminas de madeira de *Populus deltoides* pura ou em mistura com *Pinus taeda*, coladas com as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, propiciou a obtenção de painéis com melhor qualidade de colagem.

As propriedades físicas e mecânicas obtidas para os painéis compensados são próximas aos padrões de qualidade estabelecidos pela ABIMCI para painéis compensados de pinus com 15 cm de espessura formados por 5 lâminas.

Diante dos resultados obtidos, recomenda-se a utilização da madeira de *Populus deltoides* para laminação e confecção de painéis compensados com as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, deixando como sugestão a utilização de menor pressão específica durante o processo de prensagem.

## 5 REFERÊNCIAS

ALFARO, R. I.; HUMBLE, L. M.; GONZALEZ, P.; VILLAVERDE, R.; ALLEGRO, G. The threat of the ambrosia beetle *Megaplatypus mutatus* (Chapuis) (= *Platypus mutatus* Chapuis) to world poplar resources. **Forestry**, v. 80, n. 4, p. 471-479, 2007. DOI: 10.1093/forestry/cpm029.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Compensado de Pinus – Catálogo Técnico n. 1**, Curitiba, 2002. 24p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). Compensados de madeira tropical e pinus PNQM-CT e PNQM-CP. Programa nacional da qualidade da madeira. **Catálogo Técnico**, Rev.05, Curitiba, 2009, 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 2426-2**: Madeira compensada – classificação pela aparência superficial. Rio de Janeiro, 2006. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 2426-3**: Madeira compensada – classificação pela aparência superficial. Rio de Janeiro, 2006. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9484**: Compensado – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2011. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9485**: Compensado - Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9486**: Compensado – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2011. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9535**: Compensado - Determinação do inchamento. Rio de Janeiro, 2011. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9533**: Compensado – Determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12466-1**: Madeira compensado – qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 2012. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 12466-2**: Madeira compensado – qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 2012. 5 p.

BONDUELLE, G. M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus* spp. **Floresta e Ambiente**, v.12, n. 2, p. 35 - 41, 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, v. 63, p. 65-78, 2003.

BORTOLETTO JUNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de laminas. **Scientia Forestalis**, v.36, n.78, p. 95-103, 2008.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 001-016, 2002.

CARVALHO FILHO, M. M.; TEIXEIRA, E. P.; CONFORTI, T. B. Registro de novos hospedeiros de *Megaplatypus mutatus* (Chapuis) (Coleoptera, Platypodidae) no estado de São Paulo, Brasil (nota científica). **Revista do Instituto Florestal**, v. 20, n. 2, p. 213-219, 2008.

DEMİRKİR, C.; ÖZTÜRK, H.; ÇOLAKOĞLU, G. Effects of press parameters on some technological properties of polystyrene composite plywood. **Journal of Forestry Faculty**, v. 17, n. 3, p. 517-522, 2017. DOI: 10.17475/kastorman.285645.

DEMİRKİR, C.; AYDIN, I.; COLAKI, S.; OZTURK, H. Effects of plasma surface treatment on bending strength and modulus of elasticity of beech and poplar plywood. **Maderas: Ciencia y tecnología**, v. 19, n. 2, p. 195-202, 2017. DOI: 10.4067/S0718-221X2017005000017.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Fabricación de madera contraplacada con adhesivo poliuretano alternativo à base de ricino. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v. 5, n. 2, p. 163-175, 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-2** - Plywood - Bonding quality - Part 2: Requirements. Brussels: 1993.

GIRARDI, S. G.; GIMÉNEZ, R. A.; BRAGA, M. R. Ocorrência de *Platypus mutatus* Chapuis (Coleoptera: Platypodidae) em uma plantação experimental de pau-brasil no sudeste do Brasil. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 6, p. 864-867, 2006. DOI: 10.1590/S1519-566X2006000600023.

GLASS, S. V.; ZELINKA, S. L. Moisture Relations and Physical Properties of Wood. In: Forest Products Laboratory. **Wood Handbook – Wood as an engineering material**. Ed. Centenária. Madison: USDA, 2010. p. 4-1; 4-19.

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

IWAKIRI, S.; VARGAS, C. A.; PARCHEN, C. F. A.; WEBER, C.; BATISTA, C. C.; GARBE, E. A.; CIT, E. J.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de *Schizolobium amazonicum*. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 451-458, 2011. DOI: 10.5380/ufv.v41i3.23991.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; BRAZ, R. L.; CASTRO, V. G.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO, E.; RANCATTI, H.; SANCHES, F.L. Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina ureia-formaldeído. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 809-816, 2012. DOI: 10.5380/ufv.v42i4.25688.

IWAKIRI, S.; SANCHES, F. G.; POTULSKI, D. C.; SILVA, J. B.; ANDRADE, M.; MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de pinus tropicais e eucalipto na produção de painéis compensados ureicos. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 277-284, 2012a. DOI: 10.5380/ufv.v42i2.20657.

JAVARINI, E. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas de *Populus deltoides*, plantado nas várzeas do Vale Médio do Rio Iguaçu**. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Florestal), Centro Universitário de União da Vitória, União da Vitória, 2011.

KLASNJA, B.; KOPITOVIC, S.; ORLOVIC, S. Variability of some wood properties of eastern cottonwood (*Populus deltoides* Bartr.) clones. **Wood Science Technology**, v. 37, p. 331-337, 2003. DOI: 10.1007/s00226-003-0179-3.

MACHADO, J. F., HILLIG, E., WATZLAWICK, L. F.; BEDNARCZUK, E.; TAVARES, E. L. Production of plywood panel for exterior use with paricá and embaúba timbres. **Árvore**, v. 42, n. 4, p. 1-7, 2018. DOI: 10.1590/1806-90882018000400006.

MELO, R. R. de; DEL MENEZZI, C. H. S.; PAVAN, B. E.; RODOLFO JUNIOR, F. Rotary peeling yield of *Schizolobium amazonicum* (Leguminosae - Caesalpinioideae). **Acta Amazonica**, v. 44, n. 3, p. 315-320, 2014. DOI: 10.1590/1809-4392201302926.

MENDOZA, Z. M. S. H.; BORGES, P. H. M.; SANTOS, E. A.; PENNA, J. E.; ELIAS, M. P. S.; MORAIS, P. H. M. Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados e laminated veneer lumber (LVL). **Nativa**, v.5, esp., p. 588-593, 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05nespa19.

MONTEIRO, D. C. A. **Condições topoclimáticas preferenciais para plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby) e evidências de desempenho para otimizar a silvicultura em áreas desflorestadas na Amazônia**. 153f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 2013.

NAUTIYAL, I.; GAUTAM, S. Suitability of combination plywood from *Melia composita* and *Populus deltoides* and effect of curing pressure on their glue shear strength. **Journal of Tree Sciences**, v. 34, n. 2, p. 47-51, 2015.

NAUTIYAL, I.; GAUTAM, S. Preliminary study on suitability of combination plywood from *Melia composita* and *Populus deltoides*. In: TEWARI, S.; SAH, V.K.; LAVANIA, S.K. **Holistic Development of Agroforestry**, India: Jaya Publishing House, 2016. p. 177-182.

ÖNCEL, M.; VURDU, H.; AYDOĞAN, H.; ÖZKAN, O. E.; KAYMAKCIET, A. The tensile shear strength of outdoor type plywood produced from fir, alnus, pine and poplar wood. **Wood Research**, v. 64, n. 5, p. 913-920, 2019.

PINTO, J. A.; IWAKIRI, S. Estudo sobre a viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para produção de painéis compensado. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 97, p. 29-37, 2013.

SANCHES, F. L.; HILLIG, E.; IWAKIR, S.; NAPOLI, L. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de espécies florestais tradicionais e não tradicionais. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 559-569, 2016. DOI: 10.5902/1980509822756.

SILVA, B. C.; VIEIRA, M. C.; OLIVEIRA, G. L.; GONÇALVES, F. G.; RODRIGUES, N. D.; LELIS, R. C. C.; IWAKIRI, S. Qualidade de compensados fabricados com adesivos à base de tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 511-519, 2012. DOI: 10.4322/loram.2012.057.

SILVA, I. F.; MENDONÇA, A. R.; HOFFMANN, R. G.; ZANETI, L. Z.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C. Rendimento em laminação de madeira de paricá na região de Paragominas, Pará. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 447-455, 2015. DOI: 10.5902/1980509818464.

SUCHSLAND, O. **Warping of furniture panels**. Michigan: Agriculture Experimental Station, 1972. 48 p. (Extension Bulletin E-745).

TAVARES, E. L.; HILLIG, E.; BEDNARCZUK, E.; MACHADO, J. F.; MUSTEFAGA, E. Massa específica da madeira, rendimento da laminação e qualidade das lâminas de *Pinus patula* Schltl & Cham. **Ciência da Madeira**, v. 9, n. 2, p. 103-112, 2018. DOI: 10.12953/2177-6830/rcm.v9n2p103-112.

TAVARES, E. L.; HILLIG, E.; DIAS, A. N.; ZANUNCIO, A. J. V.; SERPE, E. L. Juvenile wood from *Pinus patula* Schltl & Cham for multilaminated panel production. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: 10.1590/2179-8087.004819.

THOEMEN, H.; IRLE, M.; SERNEK, M. (Ed.). **Wood-based panels an introduction for specialists**. Londres: Brunel University Press, 2010. 117 p.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Pure and decorative plywood panels from *Cordia trichotoma* and *Grevillea robusta*. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, p. 1-10, 2018. DOI: 10.1590/2179-8087.002417.

VIEIRA, M. C.; BRITO, E. O.; GONÇALVES, F. G. Evolução Econômica do Painele Compensado no Brasil e no Mundo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 277-285, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.033.

VILLACIDE, J.; CORLEY, J. *Megaplatypus mutatus*: Bases para su manejo integrado. Argentina: INTA, 2009. Série técnica. 18 p.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. 595 p.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais características anatômicas constatadas para a madeira de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos foram grã reta, presença de tilo nos vasos, raios homogêneos unisseriados, parênquima axial ausente ou extremamente raro e aumento das dimensões dos elementos de vaso, raios e fibras com o avanço da idade.

Para a composição química, os teores de extrativos, lignina insolúvel, pH, cinzas e materiais voláteis apresentaram tendência de crescimento em função do aumento da idade, enquanto que para o teor de carbono fixo ocorreu o inverso.

Pelas características anatômicas e químicas constatadas para as madeiras de *Populus deltoides*, indica-se o seu uso como matéria-prima para a produção de papel e celulose, produtos sólidos de madeira e de painéis, não sendo viável economicamente e em termos de rendimento energético seu uso para a produção de carvão vegetal.

As madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos classificaram-se como madeiras de baixa densidade e muito instáveis, apresentando tendência de crescimento dos valores de densidade e contração volumétrica em função do aumento de idade. Quanto às propriedades mecânicas, houve acréscimo dos valores à medida que a idade aumentou, constando-se que esta variabilidade foi grande parte influenciada pela densidade da madeira, pois se obteve correlações significativas entre esta propriedade e quase todas as propriedades mecânicas. *Populus deltoides* aos 8, 10 e 12 anos classifica-se na classe de resistência C20 de acordo com a norma NBR 7190, sendo indicado seu uso para fins estruturais e não estruturais.

A utilização das partículas de madeira curtas e espessas de *Populus deltoides* nas idades de 8 e 12 anos para a produção painéis MDP e HDP, resultaram em melhor resistência a tração perpendicular, e quando misturadas as partículas longas e finas de *Pinus taeda* melhoraram a estabilidade dimensional dos painéis, principalmente para a propriedade inchamento em espessura. Quanto às propriedades mecânicas, os valores obtidos atenderam aos requisitos mínimos estabelecidos pela norma NBR 14810-2 para painéis particulados de média densidade não estruturais destinado a uso interno e, ANSI A208.1 para painéis particulados de alta densidade.

As correlações de Pearson obtidas para os painéis MDP e HDP demonstraram que a utilização da madeira de baixa densidade juntamente a compactação e colagem do painel influenciaram positivamente as propriedades físico-mecânicas, e que a estabilidade dimensional do painel teve influência principalmente sobre o módulo de elasticidade à flexão estática.

Maior rendimento efetivo do processo de laminação e maior percentual de lâminas na classe E foi obtido para a madeira de *Populus deltoides* com 12 anos de idade em relação a madeira com 10 anos. A utilização de lâminas de madeira de *Populus deltoides* pura ou em mistura com *Pinus taeda*, coladas com as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, propiciou a obtenção de painéis com melhor qualidade de colagem, além de propriedades físico-mecânicas próximas aos padrões de qualidade estabelecidos pela ABIMCI para painéis de pinus.

Para os painéis particulados e painéis compensados, não foi verificada influência dos tilos que obstruem parte dos poros da madeira de *Populus deltoides* no processo de colagem, atribuindo a variação dos valores obtidos para as propriedades dos painéis às dimensões das partículas utilizadas e à densidade da madeira.

A utilização de distintas seções do fuste de *Populus deltoides* para a produção de painéis particulados e painéis compensados nesta tese, indica a possibilidade de se destinar o plantio para a obtenção de multiprodutos, porém há necessidade de se realizar estudos complementares para se definir o regime de manejo multiproduto mais adequado e rentável para a espécie em questão.

A caracterização anatômica e química, bem como a determinação das propriedades físicas e mecânicas das madeiras de *Populus deltoides* nas idades de 8, 10 e 12 anos, juntamente as suas características de rápido crescimento e resistência ao frio, demonstrou que esta espécie pode ser uma alternativa para a obtenção de multiprodutos na região sul do país, além do seu uso em conjunto com espécies tradicionais, principalmente para a produção de painéis compensados e painéis MDP e HDP.