

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE
UNICENTRO

MADEIRA DE *Pinus patula* E DE *Pinus taeda* PARA LAMINAÇÃO E
PRODUÇÃO DE PAINÉIS MULTILAMINADOS

EVERTON LORENZETT TAVARES

IRATI-PR

2017

EVERTON LORENZETT TAVARES

MADEIRA DE *Pinus patula* E DE *Pinus taeda* PARA LAMINAÇÃO E
PRODUÇÃO DE PAINÉIS MULTILAMINADOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr^o Éverton Hillig

Orientador

Prof^a. Dr^a Andrea Nogueira Dias

Coorientadora

IRATI-PR

2017

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

TAVARES, Everton Lorenzetti.

T231m

Madeira de *Pinus patula* e de *Pinus taeda* para laminação e produção de painéis multilaminados / Everton Lorenzetti Tavares. – Irati, PR : [s.n.], 2017.

89f.

Orientador: Prof. Dr. Éverton Hillig

Coorientadora: Prof^a. Dr^a Andrea Nogueira Dias

Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais. Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal – dissertação. 2. Painel multilaminados. 3. Construção balanceada. I. Hillig, Éverton. II. Dias, Andrea Nogueira. III. UNICENTRO. IV. Título.

CDD 585.2

TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa Nº 103

Everton Lorenzett Tavares

“Madeira de *Pinus patula* e de *Pinus taeda* para laminação e produção de painéis multilaminados”

Dissertação aprovada em 24/02/2017 como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, 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:



Dra. Rosilani Trianoski

Universidade Federal do Paraná
Primeira Examinadora



Dr. Antônio José Vinha Zanuncio
Universidade Federal de Uberlândia
Segundo Examinador



Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2017

Aos que me apoiaram e incentivaram,
minha família em especial aos meus pais,
Erondi Tavares da Silva e Lenir Maria
Lorenzett Tavares e ao meu avô Olysses
Lorenzett (*in memorian*).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela saúde e vitalidade para vencer mais esta batalha.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de aperfeiçoamento profissional e ampliação de conhecimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos para condução da pesquisa.

Aos Professores Éverton Hillig e Andrea Nogueira Dias pelas orientações, paciência, amizade, ensinamentos e ajuda sempre constante.

A todos os colaboradores da UNICENTRO que de alguma forma me auxiliaram.

Às empresas REMASA REFLORESTADORA S.A. e todos seus colaboradores, pela disponibilização de materiais e apoio na condução da pesquisa; MADEBIL e todos seus colaboradores pela laminação, secagem das lâminas e doação da resina fenol-formaldeído; AGOSTINHO ZARPELLON E FILHOS S.A. Indústria e Comércio, pela doação da resina uréia-formaldeído.

Aos colegas do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais pela troca de experiências e conhecimento, amizade, apoio e convivência.

Aos colegas do curso de Engenharia Florestal e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Estadual do Centro-Oeste.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa, e em especial a Patrícia Sislaghi de Oliveira, Clérito Kaveski Peres, Adriane Mores da Luz, Ezaquel Bednarczuk, João Fábio Machado, Mario Rodolfo Boff Burgin, Cintia da Conceição Costa, Edson Serpe, Rodrigo Geroni Mendes Nascimento, Carlos Henrique Boscardin Naujacke aos professores Afonso Figueiredo Filho, Américo Wagner Júnior, Antônio Jose Vinha Zanuncio, Claudio Thomas, Eleandro José Brun, Fabiani das Dores Abati Miranda, Flávio Augusto de Oliveira Garcia, Henrique Soares Koehler, Jackson Roberto Eleoterio, Jorge Luis Monteiro de Matos, Márcio Pereira da Rocha, Marcos Aurélio Mathias de Souza, Maria Madalena Santos da Silva, Rodrigo Otávio Veiga de Miranda, Rosilani Trianoski, Setsuo Iwakiri, Silvana Nisgoski e Umberto Klock, os quais sempre me incentivaram a evoluir profissionalmente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
2. INTRODUÇÃO GERAL	7
3. OBJETIVOS	9
3.1. Objetivo geral	9
3.2. Objetivo específicos.....	9
4. CAPÍTULO I: MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO E QUALIDADE DAS LÂMINAS PRODUZIDAS COM TORAS DE <i>Pinus patula</i> Schltl & Cham E <i>Pinus taeda</i> L.	10
4.1. INTRODUÇÃO.....	10
4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.2.1. Estudo de gênero <i>Pinus</i>	12
4.2.1.1. Histórico do <i>Pinus</i> no Brasil.....	12
4.2.1.2. Demanda de consumo de pinus no Brasil	12
4.2.2. Espécies utilizadas.....	13
4.2.2.1. <i>Pinus patula</i>	13
4.2.2.2. <i>Pinus taeda</i>	14
4.2.3. Produção de lâminas de madeira.....	16
4.2.3.1. Preparação das toras para laminação	16
4.2.3.2. Processo de laminação	17
4.2.3.3. Secagem das lâminas	18
4.3. MATERIAL E MÉTODOS	20
4.3.1. Área de estudo.....	20
4.3.2. Características dendrométricas das árvores	20
4.3.3. Massa específica básica	21
4.3.4. Rendimento da laminação.....	23
4.3.4.1. Obtenção das toras e modelo experimental	23
4.3.4.2. Produção das lâminas e rendimento da laminação	23

4.3.5. Análise estatística	26
4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.4.1. Massa específica básica	27
4.4.2. Rendimento da laminação.....	30
4.5. CONCLUSÕES.....	33
4.6. REFERÊNCIAS	34
5. CAPÍTULO II: PAINÉIS MULTILAMINADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> E <i>Pinus patula</i>, COLADOS COM RESINAS URÉIA-FORMALDEÍDO E FENOL-FORMALDEÍDO	38
5.1. INTRODUÇÃO.....	38
5.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	40
5.2.1. Painéis de madeira compensada	40
5.2.2. Qualidade dos painéis de madeira compensada	41
5.2.3. Produção de painéis de madeira multilaminados	42
5.2.3.1. Produção de painéis compensados.....	42
5.2.4. Adesivo	44
5.2.4.1. Conceito de adesivo	44
5.2.4.2. Princípios básicos da colagem de painéis multilaminados.....	44
5.2.4.3. Adesivo fenol-formaldeído.....	45
5.2.4.4. Adesivo uréia-formaldeído.....	45
5.2.5. Fatores que afetam a colagem dos painéis	46
5.2.5.1. Propriedades anatômicas	46
5.2.5.2. Propriedades físicas	46
5.2.5.3. Propriedades químicas	47
5.2.5.4. Características dos adesivos.....	48
5.2.6. Normas para painéis de madeira compensada	49
5.2.7. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados	50
5.3. MATERIAL E MÉTODOS	54
5.3.1. Obtenção das toras.....	54
5.3.2. Laminação, secagem e classificação	54
5.3.3. Delineamento experimental.....	54
5.3.4. Produção dos painéis de madeira multilaminados.....	56

5.3.5. Confecção dos corpos de prova para determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis	57
5.3.6. Determinação das propriedades físicas do painel	58
5.3.7. Determinação das propriedades mecânicas do painel	60
5.3.8. Análise dos dados	62
5.3.8.1. Análise do efeito da construção balanceada	63
5.3.8.1.1. Variáveis analisadas	63
5.3.8.1.2. Análise estatística	64
5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.4.1. Painéis colados com uréia-formaldeído (uso interno)	66
5.4.1.1. Propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso interno	66
5.4.1.2. Propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso interno	69
5.4.2. Painéis colados com fenol-formaldeído (uso externo)	73
5.4.2.1. Propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo	73
5.4.2.2. Propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo	76
5.4.3. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados	81
5.5. CONCLUSÕES	84
5.6. REFERÊNCIAS	85

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I:

Figura 1. Distribuição do <i>Pinus patula</i> Schltl & Cham.....	14
Figura 2. Regiões de origem do <i>Pinus taeda</i> L.....	15
Figura 3. Gráfico boxplot da massa específica básica por posição ao longo do fuste para cada espécie estudada	29

Capítulo II:

Figura 1. Disposição das composições de lâminas dos painéis multilaminados.....	55
Figura 2. Croqui de localização dos corpos-de-prova.....	57
Figura 3. Efeito do MOR e MOE dos painéis multilaminados dos de <i>Pinus patula</i> e <i>Pinus taeda</i>	81
Figura 4. Efeito do inchamento nos painéis compensados de <i>Pinus patula</i> e <i>Pinus taeda</i>	82

LISTA DE TABELAS

Capítulo I:

Tabela 1. Massa específica básica (MEB) da madeira de <i>Pinus taeda</i>	15
Tabela 2. Requisitos para teor de umidade	19
Tabela 3. Tratamentos empregados para os testes	23
Tabela 4. Valores médios da massa específica básica ponderada (MEB _{MP}), da massa específica básica aritmética (MEB _{MA}) e da massa específica básica nas diferentes alturas do tronco (MEB _{Base} , MEB _{DAP} , MEB _{25%} , MEB _{50%} e MEB _{70%}) da madeira de <i>Pinus patula</i> Schltdl & Cham e de <i>Pinus taeda</i> L aos 12 anos.....	27
Tabela 5. Análise fatorial para massa específica básica aritmética (MEB _{MA}) e massa específica básica ponderada (MEB _{MP}), considerando os fatores espécie e classe de diâmetro.....	28
Tabela 6. Análise fatorial para massa específica básica (MEB) de cada espécie, considerando os fatores classe de diâmetro e posição ao longo do fuste.	28
Tabela 7. Valores médios das características dendrométricas das árvores de <i>Pinus patula</i> Schltdl & Cham e de <i>Pinus taeda</i> L.	30
Tabela 8. Valores médios de rendimento e de perdas no processo de laminação das árvores de <i>Pinus patula</i> Schltdl & Cham e de <i>Pinus taeda</i> L.	31
Tabela 9. Percentuais de classe de qualidade das lâminas de <i>Pinus patula</i> Schltdl & Cham e de <i>Pinus taeda</i> L., por classe de diâmetro conforme normas NBR ISO 2426-1 e 2426-3.....	32

Capítulo II:

Tabela 1. Gramatura recomendada para aplicação do adesivo na produção de painéis compensados	43
Tabela 2. Delineamento experimental	55
Tabela 3. Características físicas e químicas das resinas	56
Tabela 4. Formulação da batida de cola	56
Tabela 5. Ensaios físicos e mecânicos realizados nos painéis multilaminados.....	58
Tabela 6. Requisitos para massa específica aparente para painéis de pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas	63

Tabela 7. Requisitos para flexão estática para painéis de pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas	63
Tabela 8. Resistência da linha de cola do compensado de Pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas	63
Tabela 9. Valores médios para as propriedades físicas dos painéis multilaminados dos painéis de uso interno.	66
Tabela 10. Influência das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso interno.....	67
Tabela 11. Interação entre os fatores espécie e composição na espessura dos painéis de uso interno	68
Tabela 12. Valores médios para as propriedades mecânicas dos painéis multilaminados dos painéis de uso interno.	69
Tabela 13. Influência dos fatores nas propriedades mecânicas dos painéis de uso interno.....	71
Tabela 14. Interação dos fatores espécie e composição do painel no MOE, perpendicular e paralelo, para os painéis de uso interno	72
Tabela 15. Valores médios das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo	73
Tabela 16. Influência dos fatores nas propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo.....	75
Tabela 17. Interação entre os fatores espécie e composição na espessura dos painéis de uso externo	76
Tabela 18. Valores médios por tratamento de MOR e MOE em flexão estática, paralelo e perpendicular, dos painéis de uso externo.....	77
Tabela 19. Valores médios de MOR e MOE paralelo em flexão estática para painéis compensados produzidos com lâminas de diferentes espécies do gênero Pinus sp.	77
Tabela 20. Valores para flexão estática para <i>pinus</i> encontrados na literatura	78
Tabela 21. Influência dos fatores nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo.....	79
Tabela 22. Interação dos fatores espécie e composição no MOR perpendicular e paralelo e no MOE paralelo em flexão estática dos painéis de uso externo	80

RESUMO

Everton Lorenzett Tavares. Madeira de *Pinus patula* e de *Pinus taeda* para laminação e produção de painéis multilaminados

A madeira de *pinus* foi estabelecida no país por incentivos fiscais, sendo a principal fonte de matéria-prima na indústria de painéis compensados na região Sul. Devido a problemas com ataque de macacos nos plantios de *Pinus taeda*, o *Pinus patula* Schltl & Cham vem ganhando destaque devido ao fato dessa espécie não ser atacada por esses animais. Algumas empresas se interessaram em estabelecer plantios com esta última espécie, porém tem dúvidas em relação à qualidade de sua madeira. Deste modo, o estudo teve como objetivos avaliar os efeitos da espécie, da classe de diâmetro da árvore e da posição longitudinal na massa específica básica da madeira; comparar o rendimento da laminação da madeira dessa espécie com a de *Pinus taeda* e avaliar a qualidade de painéis compensados/LVL produzidos com lâminas de madeira de *Pinus patula* e *Pinus taeda* colados com resina uréia-formaldeído, destinados para uso em interior, e fenol-formaldeído, destinados para uso exterior. Foi instalado um experimento para avaliar os efeitos da espécie de madeira e da composição de lâminas em construção balanceada nas propriedades dos painéis (massa específica, teor de umidade, espessura, absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática paralela e perpendicular às fibras e qualidade da colagem). Foram utilizadas árvores com 12 anos de idade separadas em três classes de DAP (17 a 22,99; 23 a 32,99 e ≥ 33 cm) plantadas do município de Bituruna-PR. A madeira de *Pinus patula* apresentou menor massa específica básica e maior rendimento de laminação que a de *Pinus taeda*, os painéis produzidos com madeira de *Pinus patula* apresentaram propriedades que atenderam os padrões de qualidade exigidos pela ABIMCI, com exceção da massa específica aparente. A análise do efeito da construção balanceada confirmou que a espessura da lâmina é o que mais influencia no balanceamento das propriedades dos painéis e que as propriedades de estabilidade dimensional e de resistência do painel compensado podem ser estimadas em função das espessuras da lâmina com a grã disposta no sentido paralelo e perpendicular dos painéis.

Palavras chaves: Propriedades da madeira; Painéis compensados; Construção balanceada.

ABSTRACT

Everton Lorenzetti Tavares. *Pinus patula* and *Pinus taeda* wood for veneers and multilaminated panels production.

Timber of *Pinus* sp. was established in the Brazil by fiscal incentives, being the main source of raw material in the plywood industry in the South of country. Due to problems with monkey attack in *Pinus taeda* plantations, *Pinus patula* Schltl & Cham has been gaining prominence due to the fact this species is not attacked by these animals. Some companies were interested in establishing plantations with this last species, but have doubts about the timber quality. Thus, the study had as objectives to evaluate the effects of the species, the tree diameter class and the log longitudinal position in the timber basic density; Comparing the veneers yield of this species with that of *Pinus taeda* and evaluating the quality of plywood / LVL panels produced with *Pinus patula* and *Pinus taeda* wood veneers bonded with urea-formaldehyde resin, intended for internal use, and phenol-formaldehyde, intended for external use. An experiment was carried out to evaluate the effects of the timber species and the veneers composition in balanced construction on the panel properties (density, moisture content, thickness, water absorption, thickness swelling, static bending, parallel and perpendicular to the grain, and bonded quality). Twelve-year-old trees planted in the municipality of Bituruna-PR were separated into three classes of DBH (17 to 22.99, 23 to 32.99 and ≥ 33 cm). *Pinus patula* wood presented lower basic density and higher veneers yield than *Pinus taeda*. The panels produced with *Pinus patula* wood presented properties that met the quality standards required by ABIMCI, with the exception of the apparent density. The analysis of the balanced construction effect confirmed that the veneer thickness is the one that most influences the balance of the panels properties and that the dimensional stability, stiffness and resistance of the compensated panel can be estimated as a function of the thickness of veneers positions, parallel and perpendicular, panel direction

Key words: Wood properties; Plywood; and Balanced construction.

1. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para atingir os objetivos, essa dissertação foi estruturada nos seguintes capítulos:

Capítulo I: Massa específica básica da madeira, rendimento da laminação e qualidade das lâminas produzidas com toras de *Pinus patula* Schltl & Cham e *Pinus taeda* L.

Capítulo II: Qualidade de painéis multilaminados produzidos com madeira de *Pinus patulae* *Pinus taeda*, colados com resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído.

2. INTRODUÇÃO GERAL

Os painéis de madeira multilaminada ou compensada são considerados produtos alternativos à madeira serrada e apresentam algumas vantagens, como a possibilidade de produzir peças de maiores dimensões e a melhor estabilidade dimensional proporcionada pela compensação da anisotropia da madeira. Além disso, no processo de produção das laminas não há necessidade de toras de grandes diâmetros, entretanto existe a necessidade de estabelecer um diâmetro mínimo conforme cada torno laminador.

A utilização do painel de madeira compensada começou no início do século XX e, atualmente, o desenvolvimento tecnológico melhorou substancialmente a qualidade dos painéis e otimizou o parque industrial. O painel compensado se destaca por apresentar alta estabilidade dimensional, boa resistência e ser relativamente leve e de fácil manuseio, com várias aplicações na construção civil e na indústria moveleira (IWAKIRI, 2005).

A maior parte das indústrias de painéis compensados no Brasil estão localizadas nas regiões Sul e Sudeste e atendem aos mercados interno e externo, tendo seus principais clientes na Europa (IBÁ, 2016).

No Sul do Brasil, a maioria dos painéis de madeira são oriundos de madeira de espécies exóticas, das quais se destacam o pinus e o eucalipto, em decorrência das características de rápido crescimento e boa qualidade de madeira.

Entretanto, espécies de plantios comerciais, como o *Pinus taeda*, sofrem com ataques freqüentes de pragas, sendo uma delas o macaco-prego (LIEBSCH, 2016). Assim, algumas empresas têm se interessado por espécies alternativas que possam vir a ser utilizadas para a produção de madeira.

Dentre as espécies alternativas que tem despertado o interesse das empresas florestais para a produção de madeira está o *Pinus patula* Schltdl & Cham, originária do México, que foi introduzida no Brasil por empresas florestais que estabeleceram plantios experimentais distribuídos nas regiões Sul e Sudeste. Nesses plantios, se verificou que o *Pinus patula* teve boa adaptação para compor reflorestamentos, pois apresenta rápido crescimento, não é atacado por fungos, insetos e macaco-prego, o que diminui as perdas.

Nota-se que estudos estão sendo realizados com essa espécie buscando alternativas para as indústrias de produção de celulose, entretanto, são escassos os estudos sobre a utilização de sua madeira para produção de painéis compensados.

Diante disso, dado ao potencial do *Pinus patula* no suprimento de madeira nos mercados nacional e internacional, torna-se essencial estudar a viabilidade técnica do uso da madeira dessa espécie.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica do uso da madeira da espécie *Pinus patula* para a produção de lâminas e de painéis multilaminados.

3.2. Objetivo específicos

- a) Determinar a massa específica da madeira de *Pinus patula*;
- b) Produzir lâminas e painéis multilaminados com madeira das espécies *Pinus patula* e *Pinus taeda*, oriundas de toras de diferentes diâmetros;
- c) Comparar o rendimento da laminação e a qualidade das lâminas produzidas com madeira das duas espécies florestais;
- d) Avaliar o efeito da espécie, do diâmetro da tora e da composição estrutural do painel nas propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos para uso interno e externo.

4. CAPÍTULO I: MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA, RENDIMENTO DA LAMINAÇÃO E QUALIDADE DAS LÂMINAS PRODUZIDAS COM TORAS DE *Pinus patula* Schltl & Cham E *Pinus taeda* L.

4.1. INTRODUÇÃO

O *Pinus patula* Schltl & Cham é uma espécie de *pinus* do subgênero *Oocarpae*, originária do México, é conhecida popularmente como pinheiro de folhas penduradas. Em plantios experimentais realizados no Sul do Brasil, esta espécie mostrou alto incremento anual, sua madeira apresenta massa específica menor que as demais coníferas de regiões temperadas, e quando observadas as propriedades físico-mecânicas dessa madeira, verifica-se potencial de uso em painéis de madeira reconstituída (GILLESPIE, 1992).

O *Pinus taeda* L. é uma espécie oriunda do Sul e Sudeste dos Estados Unidos, muito difundida no Brasil dada a sua importância econômica. Essa espécie apresenta rápido crescimento (Latorraca & Albuquerque 2000), e pode apresentar massa específica de 0,38 g.cm⁻³ e 0,41 g.cm⁻³ aos nove e treze anos de idade respectivamente (SANTINI *et al.* 2000; BARRICHELO *et al.* 1977).

A massa específica básica é uma das principais características da madeira, servindo como parâmetro de utilização da matéria prima para todas as suas utilizações. Segundo Mattos *et al.* (2011), a massa específica pode ser útil para a avaliação da qualidade da madeira, sendo um indicativo das suas outras propriedades físicas e das suas propriedades mecânicas.

Estudos demonstram que a massa específica básica é a característica mais utilizada pelos pesquisadores, os quais a relacionam com a qualidade da madeira (OLIVEIRA 1988, LATORRACA & ALBUQUERQUE 2000, e CRUZ *et al.* 2003).

Vários fatores influenciam a massa específica básica da madeira, dos quais se pode destacar: procedência da semente, espaçamento de plantio, taxa de crescimento, idade da árvore, posição da madeira no fuste, entre outros (VALÉRIO *et al.* 2008). TREVISAN *et al.* (2008) destacam que a massa específica da madeira varia no sentido longitudinal e no sentido radial (medula/casca).

As características demandadas para laminação são: massa específica de baixa a média amplitude (< 0,6 g.cm⁻³), fuste cilíndrico e retilíneo, grã direita ou

levemente inclinada, estabilidade dimensional, e outras que definem a melhor trabalhabilidade da madeira (ABIMCI, 2004). Já quanto ao aspecto operacional, deve-se observar algumas condições como: velocidade do corte, ajuste da geometria da faca e da barra de pressão, afiação da faca, entre outros (IWAKIRI, 2005).

O estudo teve como objetivos avaliar os efeitos da espécie, da classe de diâmetro da árvore e da posição da madeira ao longo do fuste na massa específica básica da madeira. E comparar o rendimento da laminação de toras de *Pinus patula* e de *Pinus taeda*, em árvores de três diferentes classes de diâmetro e com idade de 12 anos.

4.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.1. Estudo de gênero *Pinus*

4.2.1.1. Histórico do *Pinus* no Brasil

Em 1966, no Brasil, entrou em vigor a Lei 5.106, que possibilitou o abatimento de parte dos impostos sobre a renda, quando aprovada e comprovada a atividade de florestamento e reflorestamento pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF. Deste modo, foi criada a lei de incentivos fiscais para programas de reflorestamento, totalizando plantios de aproximadamente 6,2 milhões de hectares entre 1967 e 1986 (LEÃO, 2000).

Esses plantios foram mais intensivos nas regiões Sul e Sudeste, optando pelas espécies de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, mais adaptadas às condições edafo-climáticas (PRATA, 2006).

Conforme Prata (2010), a silvicultura brasileira passou por grandes desafios para a produção de mudas de espécies exóticas de rápido crescimento, este desenvolvimento visava sustentar o parque industrial madeireiro.

Estudos com espécies tropicais iniciaram nos anos 60, com *Pinus caribaea*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* e *Pinus patula*, mas somente na década de 80, experimentos com essas espécies comprovaram seus potenciais econômicos em plantios comerciais (Aguiar *et al.* 2011). Deste modo, houve procura crescente dessas espécies para produção de madeira serrada, painéis e polpa e papel (RECH, 2002).

De acordo com IBÁ (2016), no Brasil há cerca de 1,58 milhões de hectares plantados com o gênero pinus, sendo que a região Sul detém, aproximadamente, 88% dessa área. Esses plantios apresentam incremento médio anual de 18 a 28 m³.ha.ano⁻¹, em que alguns ultrapassam 40 m³.ha.ano⁻¹ (IPEF, 2015).

4.2.1.2. Demanda de consumo de pinus no Brasil

O setor florestal tem evoluído com o tempo para atender a demanda por madeira. Conforme Vital (2009), a demanda por madeira no Brasil em 2015 foi em

torno de 236 milhões e passará para 376 milhões de m³ em 2020, garantindo retorno financeiro aos produtores de florestas plantadas.

Quanto ao consumo de pinus, destacam-se a utilização de madeira serrada, com 55,25 %, celulose e papel com 19,64 %, seguindo por painéis reconstituídos com 16,15 %, e lenha industrial com 8,64% (IBÁ, 2016).

4.2.2. Espécies utilizadas

4.2.2.1. *Pinus patula*

O *Pinus patula* é uma espécie de *pinus* do subgênero *Oocarpae*, que engloba, além do *Pinus patula*, espécies como o *Pinus radiata*, *Pinus muricata*, *Pinus greggii*, *Pinus pringlei* e *Pinus oocarpa* (WORMALD, 1975).

Esta espécie é originária da América Central, endêmica da região conhecida como Sierra Madre Oriental no México e conhecida popularmente como pinheiro de folhas penduradas, apresentando características de uma árvore perenifólia, com 15 a 20 m de altura, de tronco com casca que se rompe em placas irregulares de cor marrom-avermelhadas (Gillespie, 1992). Possui ainda, apresenta acículas verdes em número de três até cinco por fascículo, persistentes por vários anos, delgadas e penduradas (LORENZI, 2003).

Segundo Orwaet *al.* (2009), existem reflorestamentos de *Pinus patula* em vários países, tais com: Angola, Argentina, Brasil, Brunei, Camboja, Congo, Etiópia, Indonésia, Quênia, Laos, Madagáscar, Malawi, Malásia, Myanmar, Nepal, Nova Zelândia, Papua-Nova Guiné, Filipinas, África do Sul, Sri Lanka, Suazilândia, Tanzânia, Tailândia , Uganda, Vietnã, Zimbábue (Figura 1).



Figura 1. Distribuição do *Pinus patula* Schlttdl & Cham.
 Fonte: ORWA *et al.* (2009).

A espécie é adaptada a altitudes, sendo encontrada desde planícies com 600 m de altitude a regiões com 3.000 m, com precipitação entre 1.000 a 2.000 mm, com ocorrência de geadas (BINGGELI, 1997).

Conforme Gillespie (1992), essa espécie apresenta rápido crescimento e alto incremento anual, a madeira tem massa específica menor que as demais coníferas de regiões temperadas e quando observadas as propriedades físico-mecânicas dessa madeira, verifica-se potencial de uso para painéis de madeira reconstituída.

Contudo a massa específica básica, entre 0,38e 0,50 g.cm⁻³ na idade de 12 anos (GILLESPIE 1992, SHIMOYAMA e WIECHETECK 1993).

4.2.2.2. *Pinus taeda*

O *Pinus taeda* é oriundo do Sul e Sudeste dos Estados Unidos. Essa área abrange a planície costeira Atlântica até os Montes Apalaches, estendendo-se pela região do Rio Mississippi (Figura 02). Estima-se que a cobertura florestal com essa espécie é de 11,7 milhões de hectares (AGUIR *et al.* 2011).

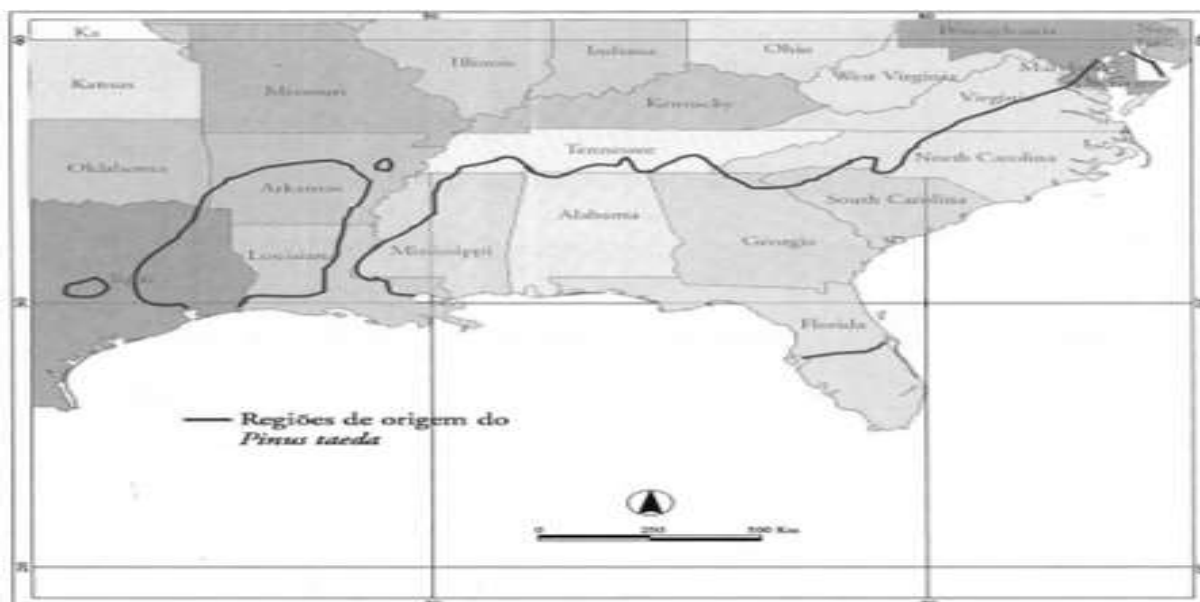


Figura 2. Regiões de origem do *Pinus taeda* L.
Fonte: Kronka *et al.* (2005).

A faixa de dispersão ocorre desde o nível do mar até 2.500 m de altitude, podendo ser encontrada até 4.500 m, com ampla variação do tipo de solo (Kronka *et al.* 2005). As árvores adultas podem atingir 1,50 m de diâmetro da altura do peito (1,3 m acima do nível do solo) e 40 m de altura (ZEGARRA, 2011).

Essa espécie apresenta copa densa, casca gretada e ramos acinzentados. As folhas são aciculares e verde-escuras, com grupos de três por fascículo, medindo de 15 a 20 cm de comprimento (MARCHIORI, 1996).

A precipitação na área de ocorrência natural varia de 1000 mm a 1500 mm e a temperatura varia entre -23 a 30°C (KOCH, 1972). Devido a diferença genotípica, condições de sítio e técnicas de manejo, a massa específica básica de sua madeira apresenta grande variação, entre 0,37 e 0,45 g.cm⁻³ (Tabela 1).

Tabela 1. Massa específica básica (MEB) da madeira de *Pinus taeda*

REFERÊNCIA	ANO	IDADE MÉDIA (anos)	MEB (g.cm ⁻³)
MATTOS <i>et al.</i>	2011	13	0,45
TRIANOSKI	2010	-	0,49
XAVIER; MATOS; TRIANOSKI	2008	11	0,39
SOUSA <i>et al.</i>	2007	13	0,40
CASTELO	2007	14 a 18	0,37 a 0,44
ANDRADE	2006	14	0,41
CHIES	2005	21	0,42
MELCHIORETTO; ELEOTÉRIO	2003	25	0,37
MENDES	2001	-	0,40
KLOCK	2000	11	0,41

Em relação a estabilidade dimensional, observa-se contração moderada, com contração tangencial entre 6,8 e 7,0%, radial entre 3,6 e 5,2%, volumétrica entre 10,4 e 12,2%, e coeficiente de anisotropia próximo de 1,8 (KEINERT JUNIOR *et al.* 1992; KLOCK, 2000; CHIES, 2005).

A composição química da madeira de *Pinus taeda* apresenta 3,03% de extrativos totais, 28,76% de lignina, 68,00% de holocelulose e 0,17% de materiais inorgânicos (KLOCK, 2000). Andrade (2006) encontrou valores entre 2,15 a 2,40% para extrativos totais, 26,55 a 28,87% para lignina, teor de holocelulose entre 70,70 a 72,73% e materiais inorgânicos no intervalo de 0,23 a 0,28%. Trianoski (2010) obteve valores semelhantes aos demais, sendo o teor de extrativos totais de 7,37%, teor de lignina de 29,34%, teor de holocelulose de 63,03% e materiais inorgânicos de 0,30%.

4.2.3. Produção de lâminas de madeira

4.2.3.1. Preparação das toras para laminação

Essa etapa envolve o descascamento, aquecimento e conversão. As coníferas são mais adaptadas a este processo por serem mais macias que as folhosas (IWAKIRI, 2005).

Existem três fatores que afetam a produção de lâminas:

- Teor de umidade: onde a madeira saturada ou abaixo do ponto de saturação das fibras perde qualidade na laminação;
- Permeabilidade: quanto maior a permeabilidade maior a porosidade e conseqüentemente melhor a qualidade da lâmina;
- Temperatura: é um fator que influencia na qualidade da lâmina, afetando sua rigidez, suavidade da superfície, uniformidade em espessura, teor de umidade da lâmina e qualidade da adesão ao adesivo.

O tempo de cozimento está diretamente vinculado à massa específica básica da madeira, diâmetro das toras e à temperatura do cozimento Medina (1986). A temperatura e o tempo ideal são baseados no diâmetro das toras, sendo que madeiras duras de maior diâmetro podem requerer tempo e temperatura maiores (SUCHSLAND E JANKOWSKY, 1978). Os autores também destacaram o vínculo do

aquecimento das toras com o aumento da plasticidade da madeira, o que facilita na laminação, principalmente em madeiras duras, das quais se pretende obter lâminas espessas.

4.2.3.2. Processo de laminação

O processo de laminação é uma operação que consiste em um desenrolo contínuo de madeira, sendo realizado por um torno que fixa a tora com duas garras e a avança em um conjunto de corte. Para obter lâminas de qualidade deve-se levar em consideração o equipamento e a massa específica madeira, para assim averiguar a necessidade de tratamento térmico das toras.

Para Lutz (1978), o torno deve operar em condições ótimas de corte, de tal modo que se consiga obter as devidas regulagens, tais como: velocidade de corte, ajuste da geometria da faca e barra de compressão e afiação da faca, entre outras.

Conforme Iwakiri (2005), a velocidade de rotação do torno pode variar de 50 a 300 rpm, variando conforme o diâmetro da tora. Quanto menor o diâmetro, maior é a rotação. A velocidade de corte varia na faixa de 30 a 50m/minuto, influenciando diretamente a qualidade da lâmina, visto que velocidades baixas resultam em lâminas mais rígidas e superfícies ásperas.

No entanto, a faca e a barra de pressão são peças fundamentais para o perfeito funcionamento do torno, as quais influenciam na qualidade da laminação. A faca é a ferramenta de corte do torno e influencia significativamente na qualidade das lâminas produzidas e sua regulagem resulta na espessura da lâmina (IWAKIRI, 2005).

A barra de compressão tem como finalidade comprimir a madeira, de modo a evitar rachaduras, guiando e apoiando no corte da faca. Se estiver desregulada produzirá lâminas com defeitos, como fendas, arrancamento das fibras, irregularidade na espessura e enrugamento (SUCHSLAND e JANKOWSKY, 1978).

Quando o equipamento ou processo apresenta algum problema ocorrem defeitos de laminação, como a rugosidade e fendas nas lâminas. Isso implica em maior gasto com adesivos na fabricação dos painéis.

Para um processo de laminação adequado, deve-se controlar a uniformidade da espessura das lâminas, afim que o processo de colagem seja mais eficiente, pois

lâminas que apresentam espessuras homogêneas reduzem problemas com a colagem (INTERAMNENSE, 1998).

Jankowsky (1978) avaliou a produção de lâminas de *Pinus strobus* e o efeito de diferentes regulagens do torno laminador, verificando diferenças na qualidade das lâminas obtidas, todavia, a resistência dos painéis compensados não foi afetada.

4.2.3.3. Secagem das lâminas

Iwakiri (2005) destacou que a secagem das lâminas é um processo em que se extrai a água presente no interior das lâminas com o mínimo de defeitos. Antes do processo de secagem, deve-se conhecer o tipo de adesivo que será utilizado para a colagem das lâminas, visando à estabilização do seu teor de umidade. Observa-se que a umidade média final das lâminas de madeira, na maioria dos casos, deve ser em torno de 10% (ABIMCI, 2004).

Para a secagem das lâminas, deve-se considerar a madeira e o processo de secagem empregado. Com relação à madeira, observa-se a espécie, densidade, características anatômicas, espessura da lâmina e umidade. No processo de secagem, deve-se controlar a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e tempo de secagem (IWAKIRI, 2005).

A secagem das lâminas de madeira é mais fácil que a secagem da madeira serrada, devido sua menor espessura (Umaña e Brito, 2004). A umidade das lâminas deve ser monitorada, pois altos valores resultam em uma colagem deficiente, enquanto baixos valores resultam em maior absorção do adesivo o que empobrece a linha de colagem.

No processo de secagem de lâminas podem ocorrer alguns defeitos, os quais podem ser provenientes das características da madeira, tais como: densidade, porosidade, extrativos, grã e lenho; e ainda outros resultantes do processo podendo-se destacar a temperatura, velocidade do ar e umidade relativa do ar; e outros relacionados ao armazenamento e manuseio errado das lâminas, que podem ocasionar variação de umidade na lâmina, contaminação das lâminas, entre outros fatores (ABIMCI 2004).

Portanto, um processo de secagem bem feito deve ser conduzido buscando as seguintes características nas lâminas (IWAKIRI, 2005):

- Teor de umidade final uniforme;
- Livre de defeitos (ondulações, depressões, fendas, rachaduras, coloração e colapso);
- Superfícies em boas condições para a colagem; e
- Mínima contração e rigidez superficial.

O PROGRAMA NACIONAL DA QUALIDADE DA MADEIRA – ABIMCI (2004) apresenta os teores de umidade para lâminas de capa, contracapa e miolo (Tabela 2)

Tabela 2. Requisitos para teor de umidade

LÂMINA	COLAGEM	
	FENÓLICA	URÉICA
CAPA	< 12 %	< 14%
MIOLO SECO	< 08 %	< 12 %
MIOLO ÚMIDO	< 08 %	< 08 %
CONTRA CAPA	< 12 %	< 14%

FONTE: ABIMCI (2004).

Após a secagem, as lâminas são guilhotinadas, classificadas, podendo ser emendadas por fitas ou fios, conforme o processo produtivo de cada empresa.

4.3. MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1. Área de estudo

A região de estudo está localizada no município de Bituruna, região Centro-Sul do estado do Paraná. Com altitude média de 1.300 metros, sendo classificado por Köppen, em clima temperado (Cfb), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida (IAPAR, 2015a).

A temperatura média da região está entre 22,6 e 12,0°C, a precipitação média mensal é de 176,25 mm e umidade relativa média mensal do ar é de 77,2% (IAPAR, 2015b). O plantio foi apresenta espaçamento 3,0x 2,0 metros, e 12 anos de idade.

4.3.2. Características dendrométricas das árvores

Com os dados do inventário do plantio florestal estratificou-se três classes dominantes de diâmetro, deste modo, foram selecionadas seis árvores de cada classe de diâmetro de cada espécie. Foram coletados dados de DAP e altura total da árvore (h). Com esses dados foram calculadas as quantidades de toras passíveis de laminação (Q_{TL}) e o volume das árvores (v).

Para a obtenção das variáveis, seguiram-se os procedimentos:

- DAP: obteve-se o diâmetro médio da medição cruzada com auxílio de uma suta graduada em centímetros.
- A altura total da árvore (h), foi obtida com auxílio de uma trena medindo até o ápice da árvore.
- Volume da árvore (v), foi obtido medindo-se o diâmetro da árvore em intervalos de um metro, até o diâmetro mínimo de 5 cm, sendo calculado por meio da Expressão 1 e 2 de Smalian.

$$v = \sum_{i=1}^n vi \quad (1)$$

e

$$v_i = \left(\frac{g_1 - g_2}{2} \right) \cdot l \quad (2)$$

Onde:

v = volume da árvore (m^3);

v_i = volume da seção i (m^3);

g_1 = área transversal 1 (m^2);

g_2 = área transversal 2 (m^2); e

l = comprimento da seção (m).

- Quantidade de tora (QT): as árvores foram seccionadas em toras de 2,75 m de comprimento.
- Quantidade de tora laminável (QTL): foram selecionadas as toras com os diâmetros maiores que 17 cm na menor extremidade.

Volume total laminado (V_{TL}): calculada por meio de Expressão 3:

$$V_{TL} = q * e * 1,3 * 0,9 \quad (3)$$

Onde:

V_{TL} : Volume total laminado (m^3);

q : quantidade de lâminas; e

e : média de três medidas da espessura de cinco lâminas do fardo de lâminas (m).

4.3.3. Massa específica básica

Para a determinação da massa específica básica optou-se pelo método utilizando discos, descrito na norma ABNT NBR 11941:2003. A massa específica básica é a relação da massa seca em estufa (105 ± 2)°C pelo respectivo volume da madeira saturada.

Foram retirados discos na base (0,10 m), DAP, 25, 50 e 70% da altura das árvores. Os discos foram seccionados em quatro cunhas com ângulos de 90°, sendo todas utilizadas para a realização dos ensaios. As cunhas foram imersas em

água durante 30 dias para garantir a saturação e, após esse período, foi determinado o volume verde por meio do método da balança hidrostática.

Em seguida, as cunhas foram secas em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ até massa constante, sendo então coletado o peso seco.

A massa específica básica foi calculada por meio de Expressão4.

$$MEB_c = \frac{m_3}{(m_2 - m_1)} \quad (4)$$

Onde:

MEB_c : massa específica básica da cunha (g.cm^{-3});

m_1 : massa do recipiente com água, (g);

m_2 : massa do recipiente com água e cunha imersa, (g);

m_3 : massa da amostra seca em estufa a $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, (g).

A massa específica básica do disco foi calculada por meio da média das cunhas retiradas de cada disco (Expressão5).

$$MEB_M = \frac{MEB_{c1} + MEB_{c2} + MEB_{c3} + MEB_{c4}}{4} \quad (5)$$

Amassa específica básica média de cada árvore, ponderada pelo volume, foi estimada por meio da Expressão6 e a massa específica básica média aritmética da árvore pela Expressão7.

$$MEB_{MP} = \frac{(MEB_{M(0-DAP)} \times V_{(0-DAP)}) + \dots + (MEB_{M(50-70\%)} \times V_{(50-70\%)})}{(V_{(0-DAP)} + V_{(DAP-25\%)} + V_{(25-50\%)} + V_{(50-70\%)})} \quad (6)$$

Onde:

MEB_{MP} : massa específica básica média ponderada da árvore (g.cm^{-3});

MEB_M : massa específica básica média das posições (g.cm^{-3});

V : volume das seções entre as posições (m^3).

$$MEB_{MA} = \frac{MEB_{M(0)} + MEB_{M(DAP)} + MEB_{M(25\%)} + MEB_{M(50\%)} + MEB_{M(70\%)}}{5} \quad (7)$$

Onde:

MEB_{MA} : massa específica básica média aritmética da árvore ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$);

$MEB_{M(X_i)}$: massa específica básica média por ponto de amostragem ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$).

4.3.4. Rendimento da laminação

4.3.4.1. Obtenção das toras e modelo experimental

Para produção das lâminas, foram coletadas nove árvores de cada espécie, sendo separadas três árvores por cada classe de diâmetro. As árvores foram seccionadas em toras de 2,75 metros.

O modelo experimental consistiu com delineamento inteiramente casualizado (DIC) com seis tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Tratamentos empregados para os testes

TRATAMENTO	ESPÉCIE	CLASSE DE DIÂMETRO (cm)
T1	<i>Pinus patula</i>	17,00 – 22,99
T2	<i>Pinus taeda</i>	
T3	<i>Pinus patula</i>	23,00 – 32,99
T4	<i>Pinus taeda</i>	
T5	<i>Pinus patula</i>	$\geq 33,00$
T6	<i>Pinus taeda</i>	

Das árvores, foram retiradas todas as toras passíveis de laminação, ou seja, as que apresentaram diâmetro mínimo de 17 centímetros na menor extremidade.

4.3.4.2. Produção das lâminas e rendimento da laminação

No processo de laminação, as toras coletadas permaneceram durante 24 horas na câmara de cozimento, com temperatura de aproximadamente 60°C. As toras foram então torneadas com espessura nominal de 2,2 mm em torno com fuso de 8 cm de diâmetro. Para o cálculo de rendimento da laminação, procedeu-se a

cubagem das toras com casca antes da laminação, após a remoção da casca e o arredondamento, e após o final do processo de laminação (rolo-resto).

Após a formação do tapete de lâminas pelo torno, ocorreu o seccionamento das lâminas pela guilhotina. Neste caso, as lâminas apresentaram as dimensões de 0,9 x 1,35 x 0,0022 metros. Após o desenrolo e guilhotinagem, procedeu-se a contagem do número de lâminas e classificação de lâminas de cada tora.

No processo de laminação, as perdas foram determinadas em três momentos, sendo: a) ocorridas no descascamento e arredondamento, b) ocorridas no rolo resto e c) perdas com o manuseio e lâminas segregadas. As perdas com descascamento e arredondamento correspondem basicamente ao efeito da conicidade e defeitos na forma da tora. Já as perdas relacionadas ao rolo resto são dependentes do tipo de equipamento utilizado e as demais perdas são relacionadas ao manuseio operacional das lâminas. Neste estudo, não foram consideradas as influências relacionadas às condições operacionais do equipamento.

O volume da tora foi determinado a partir do diâmetro de cada ponta, conforme a Expressão 8. O cálculo do rendimento efetivo (R) ocorreu com base no volume do fardo e no volume da tora, sendo o fardo composto pelo total de lâminas inteiras obtidas de cada tora (Expressão 9).

Os demais cálculos foram efetuados por meio das diferenças entre cada etapa, resultando nas perdas de laminação por classe de diâmetro (Expressões 10, 11, 12 e 13).

$$V_T = \frac{\pi * c_O}{30000} * \left(\left(\frac{D_1}{2} \right)^2 + \left(\left(\frac{D_1}{2} \right) * \left(\frac{D_2}{2} \right) \right) + \left(\frac{D_2}{2} \right)^2 \right) \quad (8)$$

Onde:

V_T = volume da tora (m³)

D_1 = diâmetro 1 (cm)

D_2 = diâmetro 2 (cm)

C_o = Comprimento da tora (m).

$$R = \frac{V_F}{V_T} * 100 \quad (9)$$

Onde:

R = Rendimento efetivo (%)

V_F = volume do fardo (m^3)

$$V_F = c * l * e * F$$

10)

Onde:

V_F = volume do fardo (m^3);

c = comprimento da lâmina (m);

l = largura da lâmina (m);

e = média de três medidas da espessura de cinco lâminas do fardo;

F = número de lâminas.

$$V_T - V_C = P_1$$

11)

$$V_C - V_R - V_F = P_2$$

12)

e

$$P_1 + P_2 + V_R = P_T$$

13)

Onde:

V_T = volume da tora (m^3);

V_C = volume do cilindro (m^3);

V_R = volume do rolo resto (m^3);

V_F = volume do fardo (m^3);

P_1 = perda com descascamento e arredondamento (m^3);

P_2 = perdas com o manuseio e lâminas segregadas (m^3); e

P_T = perdas totais.

A classificação da qualidade das lâminas foi realizada conforme as normas da ABNT, NBR ISO 2426-1 e NBR ISO 2426-3.

4.3.5. Análise estatística

A análise de massa específica básica foi realizada em três etapas. Primeiro foram calculados os valores de massa específica básica ponderada (MEBMP), da massa específica básica aritmética (MEBMA) e da massa específica básica nas diferentes alturas do tronco (MEBBase, MEBDAP, MEB25%, MEB50% e MEB70%) da madeira de ambas as espécies. Após, foi realizada a análise estatística em duas etapas, sendo a primeira a análise da MEBMP e da MEBMA, no esquema fatorial, considerando os fatores espécie e classe de diâmetro. A segunda análise, também no esquema fatorial, considerou os fatores classe de diâmetro e posição ao longo do fuste para cada espécie.

Para o rendimento da laminação, os valores médios das características dendrométricas das árvores e os valores médios das variáveis de rendimento da laminação foram submetidos à análise de variância no esquema fatorial considerando os fatores espécie e classe de diâmetro.

Satisfeitas as prerrogativas de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett e distribuição normal dos resíduos pelo teste Kolmogorov-Smirnov, foi aplicada a análise de variância com 5% de probabilidade de erro, para os fatores e suas interações. Havendo diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias.

4.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1. Massa específica básica

Os valores médios encontrados para massa específica básica (MEB) aritmética (MEB_{MA}) e ponderada (MEB_{MP}) das madeiras de *Pinus patula* e *Pinus taeda*, juntamente com os valores de MEB_{MP} posição no sentido longitudinal das árvores, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Valores médios da massa específica básica ponderada (MEB_{MP}), da massa específica básica aritmética (MEB_{MA}) e da massa específica básica nas diferentes alturas do tronco (MEB_{Base}, MEB_{DAP}, MEB_{25%}, MEB_{50%} e MEB_{70%}) da madeira de *Pinus patula* Schldl & Cham e de *Pinus taeda* L aos 12 anos

TRAT.	Espécie	Classe Diâmetro (cm)	MP (g.cm ⁻³)	MA (g.cm ⁻³)	Posições ao longo do fuste (g.cm ⁻³)				
					0,1m	1,3m	25%h	50%h	70%h
T1	<i>P. patula</i>	17,00 - 22,99	0,34	0,34	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32
T2	<i>P. taeda</i>	17,00 - 22,99	0,36	0,36	0,40	0,39	0,36	0,34	0,33
T3	<i>P. patula</i>	23,00 - 32,99	0,31	0,33	0,37	0,36	0,31	0,30	0,29
T4	<i>P. taeda</i>	23,00 - 32,99	0,36	0,37	0,42	0,39	0,37	0,35	0,33
T5	<i>P. patula</i>	≥ 33,00	0,31	0,31	0,33	0,31	0,31	0,30	0,30
T6	<i>P. taeda</i>	≥ 33,00	0,33	0,34	0,38	0,37	0,34	0,31	0,30
	<i>P. patula</i>	MÉDIA	0,32	0,33	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30
	<i>P. taeda</i>		0,35	0,36	0,40	0,39	0,35	0,33	0,32

TRAT: Tratamento / MP: média ponderada / MA: média aritmética

Observa-se uma redução na massa específica básica com o aumento da altura no sentido longitudinal da árvore. Esse efeito é observado nas duas espécies, mostrando variação semelhante (Tabela 4). Os resultados são semelhantes aos observados por Mattos *et al.* (2011) para *Pinus taeda*.

Os valores citados na Tabela 3 são superiores aos valores encontrados nesse estudo para a madeira de *Pinus taeda* na idade de 12 anos.

A média da massa específica básica aritmética (MEB_{MA}) para o *Pinus patula* foi de 0,33 g.cm⁻³ e para o *Pinus taeda* foi de 0,36 g.cm⁻³, enquanto a média da massa específica básica ponderada (MEB_{MP}) foi de 0,32 e 0,35 g.cm⁻³, respectivamente, sendo que as espécies diferiram estatisticamente (Tabela 5).

Tabela 5. Análise fatorial para massa específica básica aritmética (MEB_{MA}) e massa específica básica ponderada (MEB_{MP}), considerando os fatores espécie e classe de diâmetro.

Fator		MEB _{MA}	MEB _{MP}
Espécie	<i>P. patula</i>	0,33 b	0,32 b
	<i>P. taeda</i>	0,36 a	0,35 a
<i>F</i> calculado		28,596*	29,535*
Classe de Diâmetro (CD)	17,00 - 22,99	0,35 a	0,34 a
	23,00 - 32,99	0,35 a	0,34 a
	≥ 33,00	0,32 b	0,32 b
<i>F</i> calculado		8,630*	8,141*
<i>Interação F</i> calc		1,625ns	2,664 ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Verifica-se que as classes de diâmetro entre 17,00-22,99 cm e 23,00-32,99 cm não diferiram estatisticamente, entretanto, estas diferiram da classe ≥ 33,00, tanto para os valores de MEB_{MA} e MEB_{MP}, para ambas as espécies.

Verifica-se que a massa específica básica de ambas as espécies sofreu efeito da taxa de crescimento, pois a maior classe de diâmetro apresentou menor massa específica básica que as outras duas classes inferiores.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias e a análise estatística para a MEB de ambas as espécies, considerando os fatores classe de diâmetro e posição ao longo do fuste.

Tabela 6. Análise fatorial para massa específica básica (MEB) de cada espécie, considerando os fatores classe de diâmetro e posição ao longo do fuste.

Fator		<i>P. taeda</i> MEB (g.cm ⁻³)	<i>P. patula</i> MEB (g.cm ⁻³)
Classe de Diâmetro (CD)	17,00 - 22,99	0,36 a	0,34 a
	23,00 - 32,99	0,37 a	0,32 b
	≥ 33,00	0,34 b	0,31 c
<i>F</i> calculado		10,746*	12,822*
Posição ao longo do fuste	0,1 m	0,40 a	0,35 a
	1,3 m	0,39 a	0,34 ab
	25% h	0,35 b	0,32 bc
	50% h	0,33 bc	0,31 c
	70% h	0,32 c	0,30 c
<i>F</i> calculado		29,289*	12,546*
<i>Interação F</i> calc		0,707ns	1,832 ns

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Observa-se que para *Pinus taeda* as classes de 17 – 22,99 e 23 - 32,99 foram iguais, enquanto para *Pinus patula* todas as classes apresentaram diferença estatística.

A massa específica básica (MEB) diminui ao longo do fuste da árvore para ambas as espécies, mas observa-se ainda que a variação da MEB do *Pinus patula* ($0,05 \text{ g.cm}^{-3}$) é menor que a do *Pinus taeda* ($0,08 \text{ g.cm}^{-3}$), esse fenômeno pode ser explicado pela questão da diferenciação celular nessas posições no decorrer do fuste da árvore.

Cabe ressaltar que as toras obtidas até 25% HT na árvore são indicadas para laminação, por apresentarem diâmetros médios compatíveis com os tornos laminadores.

Na Figura 3 é apresentado o gráfico das médias e da dispersão dos dados de MEB para cada espécie e para cada posição no fuste. Observa-se uma variação significativa de MEB na mesma posição do fuste que, em parte, pode ser explicada pela variação de classes de diâmetro das árvores.

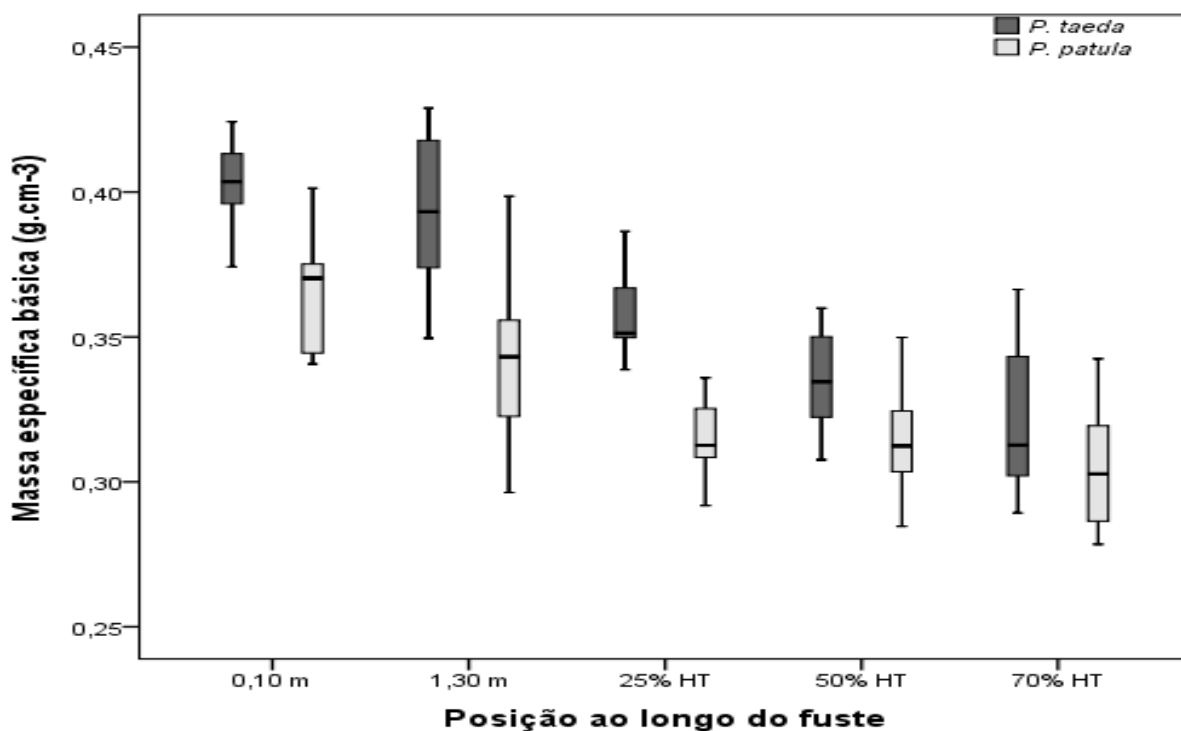


Figura 3. Gráfico boxplot da massa específica básica por posição ao longo do fuste para cada espécie estudada

4.4.2. Rendimento da laminação

Pode-se observar que houve diferença entre as classes de diâmetro para todas variáveis dendrométricas e para as espécies houve diferença estatística somente na altura total (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios das características dendrométricas das árvores de *Pinus patula* Schtdl & Cham e de *Pinus taeda* L.

TRAT.	Espécie	C. D. (cm)	DAP (cm)	h (m)	Q _T (und.)	v (m ³)	Q _{TL} (und.)	V _{TL} (m ³)
T1	<i>P. patula</i>	17,00 - 22,99	21,63 c	19,85 b	4 c	0,364 cd	2bc	0,295 cd
T2	<i>P. taeda</i>	17,00 - 22,99	20,17 c	16,17 c	4 c	0,257 d	1 c	0,203 d
T3	<i>P. patula</i>	23,00 - 32,99	25,77 b	20,97 b	5ab	0,541 bc	4ab	0,473 c
T4	<i>P. taeda</i>	23,00 - 32,99	26,68 b	18,80 b	4bc	0,495 cd	3bc	0,363 cd
T5	<i>P. patula</i>	≥ 33,00	35,38 a	23,67 a	6 a	1,062 a	5 a	0,984 a
T6	<i>P. taeda</i>	≥ 33,00	34,00 a	18,50 bc	4bc	0,798 ab	4ab	0,723 b
	<i>P. patula</i>	Média	27,59	21,50	5	0,656	4	0,584
	<i>P. taeda</i>	Média	26,95	17,82	4	0,517	3	0,430

TRAT: Tratamento / C.D.: Classe de diâmetro / DAP: Diâmetro a altura do peito / h: Altura total da árvore / Q_T: Quantidade toras / v: Volume da árvore / Q_{TL}: Quantidade de toras para laminação / V_{TL}: Volume em tora laminável. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 95% de probabilidade erro.

As árvores de *Pinus patula* apresentarem maiores valores em todas as variáveis analisadas que as de *Pinus taeda*. Demonstrando muito potencial com essas características dendrométricas.

Na Tabela 8 são apresentados os valores médios de rendimento e de perdas no processo de laminação por classe de diâmetro e por espécie.

Verificou-se 43,22 e 40,16% de rendimento médio para *Pinus patula* e para *Pinus taeda*, respectivamente, valores próximos dos resultados apresentados na literatura. Brand (2000), estudando o gênero *Pinus*, obteve rendimento médio de 46,5% de laminação; Bortoletto Júnior (2008) com *Pinus merkusii* encontrou rendimento médio de 57,4% na laminação; Almeida (2014) com *Pinus elliottii* obteve 52,7%.

Tabela 8. Valores médios de rendimento e de perdas no processo de laminação das árvores de *Pinus patula* Schltl & Cham e de *Pinus taeda* L.

TRAT.	Espécie	C.D. (cm)	V _F (m ³)	R _{TF} (%)	V _R (%)	P ₁ (%)	P ₂ (%)
T1	<i>P. patula</i>	17,00 - 22,99	0,125 c	39,63 a	18,59 ab	34,76 a	4,55 a
T2	<i>P. taeda</i>	17,00 - 22,99	0,075 c	34,18 a	22,49 a	34,67 a	5,77 a
T3	<i>P. patula</i>	23,00 - 32,99	0,219 bc	44,10 a	15,57 b	28,50 a	9,23 a
T4	<i>P. taeda</i>	23,00 - 32,99	0,192 bc	40,96 a	16,17 b	30,80 a	18,34 a
T5	<i>P. patula</i>	≥ 33,00	0,486 a	45,93 a	8,78 c	32,67 a	9,55 a
T6	<i>P. taeda</i>	≥ 33,00	0,347 ab	45,35 a	8,15 c	26,09 a	18,00 a
	<i>P. patula</i>	Média	0,277	43,22	14,31	31,98	7,78
	<i>P. taeda</i>		0,205	40,16	15,60	30,52	14,04

TRAT: Tratamento / C.D.: Classe de diâmetro / V_F: Volume do Fardo de lâminas / R_{TF}: Rendimento (Tora/Fardo) / V_R = volume do rolo resto / P₁ = perda com descascamento e arredondamento / P₂= perdas com o manuseio e lâminas segregadas FFN: Fator de Forma Normal. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 95% de probabilidade erro.

A média de perda por rolo resto foi de 14,3 e 15,6% para *Pinus patula* e *Pinus taeda*, respectivamente. Essas perdas são influenciadas principalmente pelo diâmetro da tora e pelo equipamento, sendo semelhantes aos resultados encontrados por Almeida (2014), com 15,11% de perda com rolo-resto para *Pinus elliotti*, Bortoletto Júnior (2008) com 7,65% para o *Pinus merkusii*, Medina (1986) 18,5% com *Pinus elliottii* e Jankowsky (1978), com *Pinus strobus*, verificou uma perda média de 13,6%.

A perda com o descascamento e arredondamento não diferiu estatisticamente entre as classes de diâmetro, e atribuiu-se essas perdas à conicidade das árvores. Os resultados obtidos condizem com os da literatura, como Almeida (2014) que obteve aproximadamente 56% de perda com descascamento e arredondamento na laminação de *Pinus elliotti* de 7 anos de idade; Bortoletto Jr (2008), com *Pinus merkusii*, de 26 anos de idade, obteve 39,7%; Medina (1986), 39,1% com *Pinus elliottii* aos 20 anos de idade. Os autores justificam essa perda em função da conicidade das toras.

Na Tabela 9 são apresentados os percentuais de número de lâminas obtidas com a classificação conforme a NBR ISO 2426-1 e 2426-3, por espécie e classe de diâmetro.

Tabela 9. Percentuais de classe de qualidade das lâminas de *Pinus patula* Schltl & Cham e de *Pinus taeda* L., por classe de diâmetro conforme normas NBR ISO 2426-1 e 2426-3

TRAT.	ESPÉCIE	C.D. (cm)	CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS (%)				
			A	B	C+	C	D
T1	<i>P. patula</i>	17,00 – 22,99	0,0	13,3	35,7	51,0	0,0
T2	<i>P. taeda</i>	17,00 – 22,99	9,8	0,0	46,3	31,7	12,2
T3	<i>P. patula</i>	23,00 – 32,99	2,9	12,1	31,4	45,4	8,2
T4	<i>P. taeda</i>	23,00 – 32,99	6,7	11,7	28,9	38,3	14,4
T5	<i>P. patula</i>	≥ 33	7,9	18,9	40,9	22,2	10,0
T6	<i>P. taeda</i>	≥ 33	11,2	20,8	33,7	19,4	14,8
	<i>P. patula</i>	Média	3,6	14,8	36,0	39,5	6,1
	<i>P. taeda</i>		9,2	10,8	36,3	29,8	13,8

TRAT: Tratamento / C.D.: Classe de diâmetro

Em geral, as lâminas classificadas como A e B são utilizadas nas capas do painel compensado e as demais no miolo. Dessa forma, observa-se que as espécies apresentaram percentuais similares de lâminas de capa e de miolo.

A madeira de *Pinus patula* apresentou bolsões de resina localizados próximo à casca. Esses fatores contribuiriam para que suas lâminas não fossem classificadas como tipos “A” ou “B”.

A madeira de *Pinus patula* apresentou menor quantidade de rachaduras e fendas nas lâminas e esse fato, em parte, pode ser explicado pela massa específica da madeira, pois quanto menor a massa específica da madeira mais fácil aquecer o centro da tora e plasticizar a lignina.

Analisando as classes de diâmetro, observa-se que o *Pinus taeda* apresenta maiores porcentagem de lâminas classificadas como A e B. No entretanto, o *Pinus patula* apresenta maiores porcentagem de lâminas C+ e C e ainda, menor porcentagem de lâminas D.

4.5. CONCLUSÕES

A madeira de *Pinus patula* apresentou menor massa específica que o *Pinus taeda*;

A massa específica básica decresceu com a altura do fuste das árvores para ambas as espécies, que apresentaram variação de MEB em função da altura.

A classe de diâmetro influenciou na massa específica básica da madeira de *Pinus patula*, sendo diferente entre as três classes estudadas, e de *Pinus taeda* em que a classe de diâmetro acima de 33 cm apresentou madeira com menor densidade que as outras;

As árvores de *Pinus patula* apresentaram maior número de toras passíveis de laminação e maior volume de madeira laminável;

O rendimento médio tora/fardo não apresentou diferença estatística entre as duas espécies e a qualidade das lâminas foi também semelhante.

4.6. REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira – determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003. (Norma Brasileira NBR 11941).
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – classificação pela aparência superficial**, Parte 1: Geral. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-1).
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Madeira compensada – classificação pela aparência superficial**, Parte 3: Coníferas. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-3).
- AGUIAR, A. V.; SOUSA, V. A.; SHIMIZU, J.Y.; **Cultivo de *Pinus***. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA FLORESTAS). Colombo/PR. Editado em maio 2011.
- ALMEIDA, N. F., BORTOLETTO JÚNIOR, G., MENDES, R. F., SURDI, P. G. Produção e avaliação da qualidade de lâminas de madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta e Ambiente** 2014; V.21, n.2, p.261-268.
- ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: influência da idade e da classe de produtividade**. 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.
- BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; SPELTZ, R.M.; BONISH, H.J.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. **Boletim Informativo IPEF**, v. 6, n.18, p.1-14, 1977.
- BINGGELI, P. *Pinus patula* Schiede & Deppe (Pinaceae). Maio, 1997 disponível em <<<http://www.mikepalmer.co.uk/woodyplantecology/docs/web-sp14.htm>>>. Acesso em 10/05/2015.
- BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D.; Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp.* **Floresta e ambiente**. v. 12, p. 35-41, 2006.
- BORTOLETTO JÚNIOR, G. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 78, p. 95-103, 2008.
- BRAND, M. A. **Rendimento do processo produtivo e energético da matéria prima de uma indústria de base florestal**. Curitiba.2000. 180 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2000.
- CASTELO, P.A.R. **Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus taeda* em diferentes sítios de crescimento e espaçamentos, através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão**. 2007. 137 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2007.

- CHIES, D. **Influência dos espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2005.
- CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba (SP), v.64 p.33-37, 2003.
- DALGALLO, B., DIAS, A. N., FILHO, A. F., HILLIG, É. Rendimento na produção de lâminas torneadas de *Pinus taeda* plantado em diferentes sítios florestais. In 4º Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. **Anais ...**, Curitiba, 2012.
- GILLESPIE, A. J. R. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine; U.S., **Forest Service**, 1992. New Orleans, LA. 5 p.
- IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Londrina, PR. **Monitoramento agroclimático do Paraná**. Cartas Climáticas do Paraná. 2015a.
- IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Londrina, PR. **Monitoramento agroclimático do Paraná**. Médias Históricas das Estações do IAPAR. 2015b.
- IBÁ 2014, **Relatório anual**. Indústria Brasileira de Árvores, Brasília, 100p. 2014.
- IBÁ 2016, **Relatório anual**. Indústria Brasileira de Árvores, Brasília, 100p. 2016.
- IPEF - INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Programa cooperativo sobre produtividade potencial do pinus no Brasil. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF)** Piracicaba/SP. 2015.
- IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, v.39, n.3, p. 669-673, Curitiba, PR, 2009.
- JANKOWSKY, I.P. Qualidade das lâminas de *Pinus strobus* (MARTINEZ) var. *chiapensis* obtidas por desenrolamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 50-59, 1978.
- KEINERT JUNIOR, S.; ROZAS, E.C.E.; ESTURION, J.A.; MATSUNAGA, D.K.; MICHAQUE, M.A.M.; RINCOSKI, C.R. Relação entre a contração e o teor de umidade da madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, em vários ângulos de grã. **Ciência Florestal**, v.2, n.1, p. 81-86, 1992.
- KLOCK, U. **Qualidade da Madeira de *Pinus maximinoi* H. E. Moore**. 2000. 291 p. Tese, (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2000.
- KOCH, P. Utilization of the Southern pines. Madison: USDA, **Forest Service Agricultural**. Handbook, 1972, 420 p.
- KRONKA, F., BERTOLANI, F., & PONCE, R. (1983). **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.160p.
- LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica (RJ), v. 07, n. 01, p. 279-291, 2000.

- LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 448 p.
- LIEBSCH, D.; OLIVEIRA, E. B.; MOREIRA, J. M. M. Á. P.; MIKICH, S. B. Inventário e aplicativo computacional para avaliação de danos causados por macaco-prego em plantios de pinus. **Comunicado Técnico 384**. EMBRAPA, 2016.
- LORENZI, Harri. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.
- MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1996.
- MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CALEGARI, L.; MELO, R.R.; SANTINI, E.J. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.
- MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento na produção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm.** 1986. 110 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.
- MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J.R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, XVIII, 2003, Blumenau, SC. **Anais**. Blumenau, 2003.
- MENDES, L.M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas (OSB)**. 2001. 163 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- OLIVEIRA, F. L.; LIMA J. N., GARCIA, J. N., FLORSHEIM, S. M. B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, v. 18, p. 59-70, 2006.
- OLIVEIRA, J.T.S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da Pindaíba (*Xylopia sericea* St. Hill.)**. 1988. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- ORWA, C; MUTUA, A; KINDT R; JAMNDASS R; SIMONS, A; *Pinus Patula: A tree reference and selection guide*. **Agroforestry Database**, 2009
- PRATA, J. G. **Desempenho de um Sistema de Qualidade em uma Fábrica de Painéis Compensados**. 2006. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels-EGP)**. 2010. 117p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- RECH, C. *Pinus* tropicais mostram evolução. **Revista da Madeira**. n. 67, Curitiba, PR 2002.

SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GATTO, D.A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v.10, n.1, p.85-93, 2000.

SHIMOYAMA, V. R., Wiecheteck, M. S. S. Características da madeira e da pasta termomecânica de *Pinus patula* var. *tecunumanii* para produção de papel imprensa. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, SP, v.9, n.27, p.63-80.1993.

SOUSA, R.C.; GIOVANINI, E.P.; FLORSHEIM, S.M.B.; GARCIA, J.N. Efeito da idade e da posição radial na densidade básica e nas dimensões dos traqueóides da madeira de *Pinus taeda* L. **Revista do Instituto Florestal**, v. 19, n. 2, p. 119-127, 2007.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; MELO, R.R.; STANGERLIN, D.M.; BELTRAME, R.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Variação radial da densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden. **Floresta**, v.38, n.3, p. 553-559, 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 262 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VALÉRIO, A.F.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H.S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidospermopolineuron*Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Caatinga**, v.21, n.3, p 54-58, 2008.

VITAL, M. H. F. Florestas Independentes no Brasil, **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 29, p. 77-130, mar. 2009.

WORMALD, T.J. 1975 *Pinus patula*. **Tropical Forestry Papers**. No.7 Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 172p.

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da densidade básica de *Pinus taeda* L. em diferentes idades de plantio In: I SIMADERJ - SIMPÓSIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Anais...** Seropédica, UFRRJ, 2008. 1 CD-ROM.

ZEGARRA, B. E. V. **Caracterização da estrutura anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* e efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB**. 2011. 121p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”), Piracicaba 2011.

5. CAPÍTULO II: PAINÉIS MULTILAMINADOS PRODUZIDOS COM MADEIRA DE *Pinus taeda* E *Pinus patula*, COLADOS COM RESINAS URÉIA-FORMALDEÍDO E FENOL-FORMALDEÍDO

5.1. INTRODUÇÃO

O setor florestal no Brasil mostrou crescimento nas últimas décadas, apresentando 5,6 milhões de hectares de plantios com eucalipto e 1,6 milhões de hectares com *pinus* em 2015, totalizando 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas. Desses plantios, 6 % são destinados ao segmento de painéis de madeira, com plantios de *pinus* concentrados no Paraná (42%) e em Santa Catarina (34%) (IBÁ, 2016).

O setor de painéis compensados em 2015 gerou 31 milhões de dólares de receitas, totalizando uma produção de 2,6 milhões de metros cúbicos, dos quais 1,5 milhões foram destinados para a exportação, correspondendo a 59% da produção (IBÁ, 2016).

Aproximadamente 70% dos painéis compensados são produzidos com madeira de pinus (*Pinus taeda* e *Pinus elliottii*). A ampla gama de utilização dessas espécies favorece seu uso intensivo e isso está gerando déficit de madeira com características adequadas para a laminação. Assim, vários estudos têm sido realizados buscando espécies alternativas para a produção de lâminas e de painéis compensados (IWAKIRI *et al.* 2012).

Atualmente algumas pragas florestais se destacam no âmbito nacional atingindo os plantios de pinus, sendo elas: formiga cortadeira, vespa-da-madeira e macaco-prego. Existem métodos eficazes no controle da formiga cortadeira e da vespa-da-madeira, contudo, ainda não existe métodos eficientes para o controle do macaco-prego, o que conduz a busca por plantios de espécies alternativas para mitigar esse problema.

Jankowsky (1978) sugere o *Pinus strobus* como alternativa; Iwakiri *et al.* (2001) estudou cinco espécies do gênero *Pinus*: *Pinus caribaea*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa*, e *Pinus tecunumanii*, verificando que suas madeiras apresentaram resultados satisfatórios na produção de painéis

compensados. Bortoletto Jr. (2008) realizou estudos com *Pinus merkusii* para produção de lâminas.

O *Pinus patula* é uma espécie do subgênero *Oocarpae*, originária da América Central e que vem sendo plantada experimentalmente no Brasil. Apresenta um rápido crescimento e alto incremento anual, mas tem massa específica menor que as demais coníferas de regiões temperadas (GILLESPIE, 1992). Sua maior vantagem decorre de que os plantios experimentais não sofreram ataques do macaco-prego (FAEP, 2013).

Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis multilaminados produzidos com lâminas de madeira de *Pinus patula* Schlttdl & Cham, e *Pinus taeda* L. colados com resina uréia-formaldeído, destinados para uso em interior, e fenol-formaldeído, destinados para uso exterior; e avaliar os efeitos da espécie de madeira e da construção balanceada nas propriedades dos painéis produzidos com diferentes composições estruturais. O *Pinus taeda* L. foi considerado como testemunha, servindo como parâmetro de comparação dos resultados.

5.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.2.1. Painéis de madeira compensada

A Associação da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI considera o compensado como painel de madeira processada mecanicamente, é o mais antigo dos painéis de madeira produzido em escala comercial. Desenvolvido nos Estados Unidos foi aprimorado na Europa, onde iniciou-se sua produção industrial (OLIVEIRA, 1988; ALBUQUERQUE, 1999; TOMASELLI, 1999).

Conforme Zugman (1998), na década de 50 foram desenvolvidas as resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído que garantiram aos painéis compensados uma colagem mais eficiente, proporcionando maior resistência entre as lâminas de madeira. Esta evolução possibilitou sua utilização em ambientes externos ou com presença de alta umidade.

Foi também na década de 50 que as indústrias de painéis de madeira compensada se difundiram no Brasil. Essas indústrias instalaram-se inicialmente na região Sul onde utilizaram exclusivamente *Araucaria angustifolia* como matéria-prima. Na década de 70, as indústrias começaram a utilizar madeira de espécies de folhosas para deixar o produto mais competitivo no mercado (KAZMIERCZAK, 2012).

Dessa forma, naquela época, dois fatos foram marcantes para o setor florestal: de um lado várias empresas migraram para outras regiões do Brasil, passando a utilizar madeiras tropicais como matéria-prima e, por outro, o Governo Federal iniciou uma política de incentivos fiscais para plantios florestais de espécies de rápido crescimento. Desse modo, foram introduzidas várias espécies exóticas no país, sobretudo dos gêneros de *Pinus* e *Eucalyptus* (ABIMCI, 2003).

Deste modo, os painéis de madeira compensada começaram a ganhar mercado e se destacar; este painel é composto de um número ímpar lâminas de madeiras sobrepostas perpendicularmente, a fim de reduzir os efeitos negativos da anisotropia (INTERAMNENSE, 1998).

Atualmente dois tipos de painéis de madeira compensada estão disponíveis no mercado: laminados e sarrafeados. Os laminados são produzidos com lâminas

de madeira coladas e prensadas, e os sarrafeados apresentam em seu miolo sarrafos de madeira colados de modo estrutural.

No mercado, os painéis compensados são basicamente classificados em dois tipos: de uso interno, onde a colagem ocorre com uréia-formaldeído, e de uso externo em que a colagem ocorre com fenol- formaldeído. De maneira geral, os painéis de uso externo são mais difundidos pois oferecem maior gama de utilização.

BNDES (2008) classifica os painéis de madeira no Brasil em:

- Multilaminados, em que as lâminas de madeira são sobrepostas em número ímpar de camadas coladas perpendicularmente às fibras;
- Sarrafeado ou *blockboard*, em que apresentam o miolo composto de sarrafos e as capas com lâminas de madeira, e;
- *Three-ply* compensado de madeira maciça, que são constituídos de três camadas cruzadas de sarrafos colados lateralmente.

Gay (2001) destacou os benefícios dos painéis compensados, afirmando que são produtos com inúmeras aplicabilidades sendo mais estável quando comparado à madeira serrada, salientando a minimização da variação no comprimento e na largura, apresentando baixo inchamento em espessura e sendo menos sensíveis aos ataques biológicos. Destaca-se, ainda, que o compensado apresenta boa resistência mecânica.

5.2.2. Qualidade dos painéis de madeira compensada

A qualidade dos painéis de madeira compensada é padronizada a partir das especificações obtidas por meio de normas. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) disponibiliza as normas de produção e avaliação da qualidade dos painéis compensados.

No mundo, os principais organismos que estabelecem normas para avaliação da qualidade de painéis compensados são: Deutsches Institut für Normung (DIN) – norma Alemã, American Society for Testing and Materials (ASTM) – norma Norte-Americana, e European Committee for Standardization (EN) – norma Européia. Essas normas também são utilizadas no Brasil, principalmente para produtos destinados ao mercado externo.

Para Iwakiri (2005), de forma genérica, os painéis compensados são classificados de acordo com sua utilização e tipo de adesivo utilizado. Sendo classificados para uso Interior (IR), que são indicados para ambientes protegidos de umidade, de uso Intermediário (IM), são indicados para ambientes com pouca disposição a umidade e para uso Externo (EX) que são indicados para ambientes externos ou em ambientes com disposição a umidade.

O mesmo autor também apresenta a classificação dos painéis de madeira compensada de acordo com a ABNT, onde:

- Os painéis de madeira compensada de uso geral são painéis multilaminados, cujo adesivo restringe-se ao uso interno;
- Os painéis de madeira compensada utilizados para forma de concreto, devem ser convencionados para o uso em ambientes externos;
- Os painéis de madeira compensada decorativos são painéis que recebem nas suas superfícies lâminas faqueadas, restringindo o uso para ambientes intermediários;
- Os painéis de madeira compensada industrial são classificados com menores restrições e devem apresentar características de painéis de uso externo;
- Os painéis de madeira compensada naval são painéis de utilização em uso exterior, com alta resistência mecânica e empregados na indústria naval, e;
- Os painéis de madeira compensada sarrafeados são confeccionados com o miolo formado por sarrafos.

5.2.3. Produção de painéis de madeira multilaminados

5.2.3.1. Produção de painéis compensados

Após o preparo e classificação das lâminas inicia-se a aplicação do adesivo. Para isso, deve-se atentar ao teor de umidade e a temperatura da lâmina, que deve estar abaixo de 40°C (ABIMCI, 2004).

O preparo do adesivo realiza-se em um misturador, sendo formulado conforme o tipo de resina e a quantidade. O custo da resina é um ponto crítico que influencia diretamente no custo do painel.

Para Baldwin (1981) a falta do controle implica em desperdício de até 15%, mesmo alterando fatores como qualidade da laminação, teor de umidade, espessura

da lâmina e composição do painel, espécie de madeira e temperatura da lâmina e do meio ambiente.

A gramatura do adesivo varia conforme a classificação do painel, tipo de adesivo, espécie de madeira e qualidade da lâmina (THOEMEN *et al.* 2010). Onde, lâminas que apresentam superfícies lisas demandam menores quantidades de adesivo que lâminas com superfície rugosas.

Quanto à espessura das lâminas, deve ser considerada para o cálculo da formulação da “batida” de cola. Conforme a ABIMCI (2004), a gramatura recomendada está apresentada na Tabela 1 e a distribuição do adesivo deve ser uniforme.

Tabela 1. Gramatura recomendada para aplicação do adesivo na produção de painéis compensados

ESPESSURA LÂMINA (mm)	GRAMATURA (g.m ⁻²)
< 1,0	> 260
1,0 a 2,0	> 280
2,0 a 3,0	> 320
> 3,5	> 370

FONTE: ABIMCI (2004)

Após a aplicação do adesivo, a montagem dos painéis é realizada de modo a sobrepor as lâminas adjacentes em sentido perpendicular. As melhores lâminas servirão para capa e contracapa e as demais para o miolo dos painéis de madeira compensada (IWAKIRI, 2005).

Após, a montagem dos painéis, os mesmos entram no período de assemblagem, quando ocorre a transferência do adesivo para as lâminas sobrepostas. Esse período termina no momento do carregamento para a prensagem a quente. É nesse período que algumas fábricas pré-prensam os painéis, denominando de prensagem a frio ou pré-prensagem.

Para Iwakiri (2005), a pré-prensagem auxilia na transferência e distribuição do adesivo entre as lâminas, melhora o manuseio nas operações de carregamento para a prensa e minimiza os efeitos da pré-cura.

Na prensagem a quente deve-se controlar parâmetros como o tempo de carregamento, pressão, temperatura e tempo de permanência. Baldwin (1981), explicou que a pressão e a temperatura aplicada pelos pratos da prensa favorecem a cura do adesivo.

ABIMCI (2004) recomenda que o tempo de carregamento seja inferior a 2,5 minutos, que a temperatura esteja entre 125 a 150°C para resina fenol-formaldeído e entre 95 a 115°C para resina uréia-formaldeído. Além disso, sugere que a pressão para madeira de pinus esteja entre 08 a 12 kgf.cm⁻² e o tempo de permanência, no caso de temperatura inferior a 140°C, seja de 1 min.mm⁻¹ para resina fenol-formaldeído e de 0,5 min.mm⁻¹ + 2 min para resina uréia-formaldeído.

Os painéis retirados da prensa devem ser condicionados para que ocorra a sua estabilização. Após, ocorre a classificação, esquadrejamento, lixamento e armazenamento/expedição.

5.2.4. Adesivo

5.2.4.1. Conceito de adesivo

São substância que mantém unidos dois materiais, aderindo à superfície de contato de cada um, ou seja, substância com propriedades aderentes e capacidade de unir outros materiais em suas superfícies (Michaelis (2017),

5.2.4.2. Princípios básicos da colagem de painéis multilaminados

A colagem da madeira envolve os seguintes conceitos (IWAKIRI, 2005):

- Adesivo: substância capaz de unir materiais;
- Aderente: termo para sólido unido por adesivo;
- Adesão: processo físico-químico que promove a junção de duas superfícies sólidas;
- Teoria mecânica: com a penetração do adesivo nos poros da madeira, ocorre posteriormente a solidificação do mesmo, formando uma “ancoragem” entre essas superfícies;
- Teoria da difusão de polímeros: a adesão ocorre conforme a difusão das cadeias de polímeros, a nível molecular; e
- Teoria da adesão química: adesão ocorre por ligações primárias, iônicas, e/ou forças intermoleculares secundárias.

5.2.4.3. Adesivo fenol-formaldeído

São adesivos normalmente líquidos, necessitam de temperaturas iguais ou superiores a 140°C para ocorrer a sua cura. Existe a formulação em pó e também em forma de película. Além disso, são encontradas formulações especiais que apresentam características diferenciadas como as capazes de curar em temperatura ambiente (20°C). Contém em sua formulação fenol, formol e, na batida de cola para produção de painéis compensados, extensores, tais como, farinha de trigo, pó de serra, farinha de casca de nozes (ABIMCI, 2003).

Conforme a Royal Plás (2017) adesivos fenol-formaldeído são resinas constituídas basicamente de fenol e formol formando uma solução aquosa. Apresenta uma solução de coloração marrom avermelhado, teor de sólidos entre 48 a 51%, pH na faixa de 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600 c.p. e temperatura de cura na faixa de 130 a 150°C.

As resinas fenólicas sintéticas são formadas a partir da reação química entre os compostos de formaldeído e fenol, de tal modo que se pode classificá-las como resina curável em alta temperatura e em temperatura intermediária (ABIMCI, 2003).

5.2.4.4. Adesivo uréia-formaldeído

São adesivos com base em dois compostos químicos, uréia e formaldeído. Essa formulação pode curar à temperatura ambiente (20°C) e/ou por aquecimento, com temperatura que pode chegar até 200°C. Há possibilidade de ser adicionado extensores em sua composição da batida de cola (ABIMCI, 2003).

Essa resina sintética é uma das mais utilizadas para a colagem de madeira em geral. Destaca-se pelo baixo custo dentre as demais resinas. Ainda é classificada como de uso interno, tendo características de baixa resistência e susceptibilidade a degradação na presença de umidade (IWAKIRI, 2005). Ainda segundo mesmo autor, pode-se adicionar catalisadores orgânicos a essa formulação (ácido cítrico, ácido fórmico) para a cura a frio e, para a cura a quente, usualmente utiliza-se sulfato de amônio.

5.2.5. Fatores que afetam a colagem dos painéis

A madeira é um material que apresenta diferentes propriedades anatômicas, físicas e químicas, as quais podem variar entre espécies e indivíduos.

Essas características influenciam na colagem dos painéis, bem como na superfície das lâminas, nos adesivos e nos diferentes processos produtivos.

Para Hsu (1997), as madeiras indicadas para painéis devem oferecer baixa densidade, baixo teor de umidade e extrativos, transição gradual de anéis de crescimento e baixa conicidade da tora.

5.2.5.1. Propriedades anatômicas

Para Iwariki (2005), a porosidade da madeira influencia na translocação de líquidos através da estrutura lenhosa da planta. Quanto maior a porosidade da madeira, maior será a penetração de adesivos nela, podendo resultar em linhas de cola “famintas”. O lenho inicial e o lenho juvenil apresentam maior porosidade, podendo acarretar em linhas de cola “faminta”. Destaca-se que as madeiras de lenho juvenil apresentam resistência mecânica e estabilidade dimensional baixa, diferenciando das madeiras de lenho tardio (Hsu, 1997).

O cerne concentra extrativos, tais como óleos, graxas e compostos fenólicos (PINTO, 2011). Essas substâncias influenciam na permeabilidade das madeiras, afetando a colagem dos painéis.

A direção da grã apresenta a maior influência nos painéis compensados, pois madeiras de grã cruzada acarretam em linha de cola “faminta” e a grã diagonal provoca alterações dimensionais, afetando a qualidade do painel (PINTO, 2011). A inclinação da grã influencia na qualidade da madeira, implicando nas propriedades relacionadas com a resistência (MATOS, 1997).

5.2.5.2. Propriedades físicas

As propriedades físicas da madeira consideradas na produção de painéis compensados são: a massa específica básica e o teor de umidade, tendo em vista que influenciam diretamente no processo de produção e qualidade dos painéis.

Madeiras mais densas resultam em maiores tensões na linha de cola, podendo ocorrer alterações no teor de umidade, dificultando o processo da colagem (IWARIKI, 2005).

De acordo com Oliveira (1988), a massa específica básica da madeira apresenta características complexas e é determinada por vários elementos, tais como, espessura da parede celular, proporções de lenho inicial e tardio e extrativos. Ainda, a massa específica básica é uma das mais importantes características relacionadas com a qualidade da madeira, a qual se relaciona com as características anatômicas, químicas e físico-mecânicas (OLIVEIRA 1988; LATORRACA & ALBUQUERQUE 2000; e CRUZ *et al.* 2003).

Quando se conhece a variação da massa específica básica nos sentidos axial e radial pode-se determinar a utilização da madeira, sendo que a massa específica básica pode variar de uma espécie para a outra e, ainda, dentro de uma mesma espécie e na direção radial e axial de uma mesma árvore (VALE *et al.* 1992).

Para Oliveira (1990), a massa específica se relaciona com a retratibilidade e a resistência mecânica da madeira. Vick (1999) afirma que a massa específica básica é um indicador para estimar a facilidade de colagem das espécies de madeira. Marra (1992) destaca a influência da massa específica com a colagem da madeira em dois aspectos. A primeira refere-se a estabilidade dimensional da madeira, ou seja, quanto maior sua massa específica básica maior serão as mudanças relacionadas com o teor de umidade, influenciando na tensão exercida na linha de colagem. No segundo aspecto, a quantidade de espaços vazios em função da massa específica básica, ou seja, madeiras que apresentam maiores massas específicas apresentam menores espaços vazios na madeira. Desta forma, a maior penetração do adesivo ocorre em madeiras com menor massa específica básica.

5.2.5.3. Propriedades químicas

A composição química da madeira apresenta influencia o processamento do painel, afetando diretamente na colagem das lâminas.

Hsu (1997) afirmou que, geralmente, os extrativos são voláteis, deixando os painéis propensos a avarias oriundas de bolhas ocasionadas durante a prensagem. O mesmo autor salienta que os extrativos podem influenciar diretamente na resina,

exemplificando que espécies com alta presença de extrativos apresentam baixa qualidade de colagem, deixando-a menos durável.

Conforme Marra (1992), os extrativos reduzem a higroscopicidade e permeabilidade da madeira, dificultando a penetração da resina nas lâminas de madeira.

Além dos extrativos, o pH e o teor de cinzas são as propriedades químicas que influenciam a colagem das lâminas de madeiras.

O pH influencia na cura da resina, sendo que resinas de base fenólicas curam em meio básico, enquanto resinas de base uréica curam em meio ácido.

5.2.5.4. Características dos adesivos

5.2.5.4.1. Tempo de gelatinização

É o tempo que uma porção de resina leva para gelatinizar, ou seja, solidificar-se, quando submetida a uma determinada temperatura. O tempo de gelatinização corresponde ao período da preparação do adesivo, incluindo as adições de catalisador e extensores até atingir o ponto de gelatinização, caracterizando a máxima elasticidade (IWAKIRI, 2005).

Para Albuquerque *et al.* (2005), o tempo de gelatinização relaciona-se com a vida útil do adesivo, pois a aplicação do adesivo só ocorre quando atinge a máxima viscosidade admissível. Entretanto, também se relaciona com a reatividade do adesivo, ou seja, influenciará no tempo de prensagem.

5.2.5.4.2. Viscosidade

A viscosidade é o grau de fluidez da resina, ou seja, é caracterizada pelo atrito entre moléculas de um fluido. Iwakiri (2005) afirma que o aumento na viscosidade pode expressar a idade das resinas. Quanto maior a viscosidade, maior a dificuldade no espalhamento, menor penetração nas estruturas capilares da madeira, linha de cola mais espessa, o que pode acarretar em uma colagem ineficiente. Uma baixa viscosidade do adesivo resulta em maior penetração e absorção pela madeira e, em situações extremas, pode acarretar em linhas de cola “famintas” ou de alta absorção pela madeira, ocasionando problemas na colagem.

5.2.5.4.3. Teor de sólidos

O teor de sólidos refere-se à quantidade de sólido contido na resina, a qual é composta por sólidos e líquidos voláteis, e estes últimos são evaporados com a prensagem a quente. Com a evaporação dos componentes líquidos e a solidificação da resina, forma-se a linha de cola (PRATA, 2014)

5.2.5.4.4. pH

No processo de colagem de madeiras, é de suma importância considerar o pH da madeira e o da resina, sendo que resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído curam respectivamente em meios ácidos e alcalinos. Em madeiras com alta acidez, tem-se dificuldade na colagem com resina fenol-formaldeído. Por outro lado, a alta acidez pode acarretar pré-cura em resina com base uréia-formaldeído durante a prensagem do painel (IWAKIRI, 2005).

Deste modo, para evitar problemas com a colagem dos painéis, deve-se atentar quanto ao pH, pois, a solubilidade, a velocidade e o grau de solidificação da resina são afetados por mudanças de pH.

5.2.6. Normas para painéis de madeira compensada

As normas ABNT apresentam diretrizes para determinação das propriedades dos painéis de madeira compensada, destacando-se as seguintes:

- Massa específica aparente (ABNT NBR 9485/2011);
- Teor de umidade (ABNT NBR 9484/2011);
- Absorção de água (ABNT NBR 9486/2011);
- Inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura (ABNT NBR 9535/2011);
- Módulo de elasticidade e de módulo de ruptura em flexão estática (ABNT NBR 9533/2011);
- Resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento (ABNT NBR ISO 12466-1: 2006 e ABNT NBR ISO 12466-2);

Além das normas da ABNT, existem as orientações do Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM, desenvolvido pela ABIMCI, onde são estabelecidos

parâmetros a serem controlados, descrevendo os critérios, principais etapas do processo produtivo e padrões para a fabricação básica dos painéis de madeira compensada.

5.2.7. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados

O painel multilaminado de madeira abrange o grupo de painéis compensados e o grupo de painéis estruturais tipo “LVL” (*laminated venner lumber*). O painel compensado é constituído por lâminas cruzadas em número ímpar, unidas por adesivo, pressão e calor. Assim, procura-se balancear a estrutura do painel, de modo que seja possível minimizar a variação físico-mecânica exibida pelas lâminas de madeira entre os sentidos paralelo e perpendicular às fibras. O balanceamento do painel pode ser atingido utilizando lâminas da mesma espécie e mesma espessura, mantendo o plano de simetria, afim de manter o equilíbrio entre os parâmetros elásticos entre as lâminas (SUCHSLAND, 1972).

Segundo Haselein (2000), o módulo de elasticidade para esforços axiais de um painel compensado tanto no comprimento como largura do painel podem ser calculados pela regra das misturas para lâminas de mesma espessura (Expressão 1).

$$E = \frac{1}{d} \sum_{i=1}^n E_i \cdot d_i \quad (1)$$

Segundo mesmo autor, o coeficiente de retratibilidade (contração ou inchamento) também pode ser calculado com a Expressão 2.

$$C = \frac{\sum c_i \cdot E_i \cdot d_i}{\sum E_i \cdot d_i} \quad (2)$$

Onde:

E = módulo de elasticidade do painel aos esforços axiais

E_i = módulo de elasticidade aos esforços axiais da lâmina i

d_i = espessura da lâmina i

C = coeficiente de contração ou inchamento do painel

C_i = coeficiente de contração ou inchamento da lâmina i

Desta forma, de acordo com as equações apresentadas, o balanceamento das propriedades elásticas e de estabilidade dimensional de um painel compensado podem ser obtidas com o uso de lâminas de mesmas propriedades e distribuídas em mesma espessura nos sentidos longitudinal e transversal do painel.

No caso do módulo de elasticidade em flexão estática se torna necessário levar em consideração o momento de inércia para cada lâmina em relação à linha neutra. March (1944) apud Palma (1997), apresentou as equações para cálculo do módulo de elasticidade em flexão estática do painel compensado nos sentidos paralelo (x) e perpendicular (y) do painel (Expressões 3 e 4).

$$E_x = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^n (E_x)_i \cdot I_i \quad (3)$$

$$E_y = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^n (E_y)_i \cdot I_i \quad (4)$$

Onde:

E_x ; E_y : módulo de elasticidade efetivo do compensado paralelo e perpendicular à grã submetido à flexão;

$(E_x)_i$; $(E_y)_i$: módulo de elasticidade da i -ésima lâmina na direção paralela (x) e perpendicular (y) à grã;

I = momento de inércia de toda a seção transversal, em relação ao eixo neutro da seção;

I_i = momento de inércia da seção transversal da i -ésima lâmina em relação ao eixo neutro do compensado.

Os autores ainda citam que de acordo com Freas (1964), Gurfinkel (1973) e o Forest Products Laboratory (1987), quando todas as lâminas do painel são da mesma espécie e de mesma espessura as expressões se reduzem à 5 e 6:

$$E_x = \frac{1}{2 \cdot n^3} ((E_l + E_t) \cdot n^3 + (E_l - E_t) \cdot (3 \cdot n^2 - 2)) \quad (5)$$

$$E_y = \frac{1}{2 \cdot n^3} ((E_l + E_t) \cdot n^3 + (E_l - E_t) \cdot (3 \cdot n^2 - 2)) \quad (6)$$

Onde:

E_l = módulo de elasticidade das lâminas ou da madeira na direção longitudinal

E_t = módulo de elasticidade das lâminas ou da madeira na direção tangencial.

n = número de lâminas que compõem o painel compensado.

Na indústria, esses conceitos não são levados em consideração e o balanceamento do painel é realizado de maneira empírica, usando lâminas de mesma espécie e de mesma espessura, mas normalmente dispendo essas lâminas em número ímpar, o que muitas vezes causa certa discrepância entre as propriedades de resistência e de estabilidade do painel nos sentidos paralelo e perpendicular.

As dificuldades de se aplicar os conceitos teóricos do balanceamento do painel estão em especial na dificuldade em se obter os valores de resistência e de rigidez da madeira ou das lâminas utilizadas, e também na variação que ocorre nas propriedades da madeira de uma mesma espécie em função de diversos fatores, como sítio florestal, idade da árvore, espaçamento de plantio e outros.

Os painéis tipo *laminated veneer lumber*, ou LVL, são painéis utilizados como componente estrutural de edificações, sobretudo em países onde há tradição no uso de madeira em sistemas construtivos (MÜLLER et al., 2015). Segundo (USDA, 1999), o painel LVL é produzido com lâminas obtidas por torno desenrolador, de pequena espessura, e que são dispostas todas com a grã da madeira no mesmo sentido, de modo a obter maior resistência à flexão no sentido longitudinal do painel.

Em geral, são painéis para aplicações estruturais e, assim, devem ser colados com adesivo resistente à água. Com espessuras variando entre 21 a 150 mm, são concebidos para diversas aplicações estruturais, sendo muito utilizados em vigas (PALMA, 2011).

Desta forma, considerando as semelhanças e as diferenças entre os conceitos dos painéis compensados e dos painéis LVL, esta análise visou verificar o efeito da disposição das lâminas nas propriedades de resistência e de rigidez em flexão estática e de inchamento, nos sentidos paralelo e perpendicular, dos painéis compensados/LVL.

5.3. MATERIAL E MÉTODOS

5.3.1. Obtenção das toras

Foram colhidas nove árvores de cada espécie, *Pinus Patula* e *Pinus taeda*, que foram utilizadas para o processo de laminação e de produção dos painéis.

As árvores foram colhidas no município de Bituruna, região Centro-Sul do estado do Paraná, apresentando altitude média de 1.300 metros. Com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida, sendo classificado por Köppen como clima temperado Cfb (IAPAR, 2015a). A temperatura média da região fica entre 22,6 e 12,0°C, a precipitação média mensal é de 176,25 mm e umidade relativa média mensal do ar é de 77,2% (IAPAR, 2015b)

5.3.2. Laminação, secagem e classificação

O processo de laminação ocorreu na indústria em torno desfolhador sendo produzidas lâminas de 90 x 130 centímetros, que foram secas e classificadas. Após o processamento, as lâminas foram seccionadas nas dimensões de 60 x 60 centímetros com espessura nominal de 2,2 milímetros.

A classificação da qualidade das lâminas de pinus ocorreu conforme o Programa Nacional da Qualidade da Madeira baseando-se na ABNT NBR ISO 2426-1 e 2426-3.

Mais detalhes do processo de laminação podem ser obtidos no Capítulo I, juntamente com a análise de massa específica básica das madeiras utilizadas.

5.3.3. Delineamento experimental

Os painéis foram confeccionados com lâminas de madeira das duas espécies e a partir de quatro composições de lâminas (Figura 1). As composições de lâminas foram determinadas de modo a possibilitar a avaliação do efeito da construção balanceada, de modo que variaram desde uma composição típica de um compensado convencional até uma composição com todas as lâminas dispostas com a grã na mesma direção, ou seja, uma composição típica de um painel tipo *laminated veneer lumber* (LVL).

Foram utilizadas resina uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, o que possibilitou uma análise das propriedades dos painéis em função do tipo de aplicação: uso interno e uso externo.

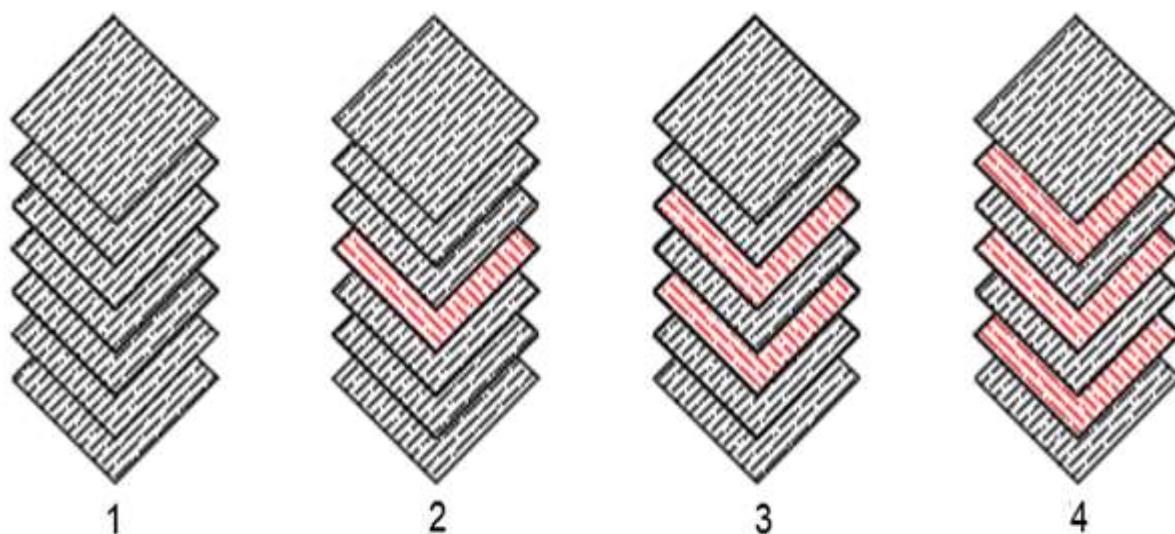


Figura 1. Disposição das composições de lâminas dos painéis multilaminados.

O delineamento experimental contempla 16 tratamentos com três repetições, totalizando 48 painéis (Tabela 2).

Tabela 2. Delineamento experimental

TRATAMENTOS	COMPOSIÇÃO DAS LÂMINAS (CAPA/MIOLO)	COMPOSIÇÃO	TIPO DE ADESIVO	Nº DE PAINÉIS
T1	<i>Pinus patula</i>	1	Uréia-formaldeído	3
T2	<i>Pinus taeda</i>	1	Uréia-formaldeído	3
T3	<i>Pinus patula</i>	2	Uréia-formaldeído	3
T4	<i>Pinus taeda</i>	2	Uréia-formaldeído	3
T5	<i>Pinus patula</i>	3	Uréia-formaldeído	3
T6	<i>Pinus taeda</i>	3	Uréia-formaldeído	3
T7	<i>Pinus patula</i>	4	Uréia-formaldeído	3
T8	<i>Pinus taeda</i>	4	Uréia-formaldeído	3
T9	<i>Pinus patula</i>	1	Fenol-formaldeído	3
T10	<i>Pinus taeda</i>	1	Fenol-formaldeído	3
T11	<i>Pinus patula</i>	2	Fenol-formaldeído	3
T12	<i>Pinus taeda</i>	2	Fenol-formaldeído	3
T13	<i>Pinus patula</i>	3	Fenol-formaldeído	3
T14	<i>Pinus taeda</i>	3	Fenol-formaldeído	3
T15	<i>Pinus patula</i>	4	Fenol-formaldeído	3
T16	<i>Pinus taeda</i>	4	Fenol-formaldeído	3
TOTAL				48

5.3.4. Produção dos painéis de madeira multilaminados

Painéis de madeira multilaminados com espessura nominal de 13,5 mm foram produzidos, utilizando sete camadas de lâminas de madeira com dimensões de 60 x 60 cm.

A gramatura utilizada foi de 160 g.m⁻² em linha simples para ambos os adesivos, foram espalhados manualmente por meio de uma espátula.

As características dos adesivos respeitaram os parâmetros estabelecidos pelo PNQM da ABIMCI (Tabela 3). As formulações das batidas de cola estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 3. Características físicas e químicas das resinas

PARÂMETROS	RESINA URÉIA-FORMALDEÍDO	RESINAS FENOL-FORMALDEÍDO
Teor de Sólidos (1g/3h/105°C)	64 – 66%	48 – 51 %
Viscosidade (25°C)	300 – 1000 cP	400 – 800 cP
pH	7,4 – 9,0	11,5 – 13,0
Gel Time	-	6 – 11 minutos
Densidade (25°C)	1,25 – 1,30 g/cm ³	1,19 – 1,25 g/cm ³

Fonte: ABIMCI (2004).

Tabela 4. Formulação da batida de cola

COMPONENTES	URÉIA-FORMALDEÍDO	FENOL-FORMALDEÍDO
Resina (%)	40	69
Trigo (%)	30	13
Água (%)	30	18
Teor de Sólido da Batida (%)	25	35

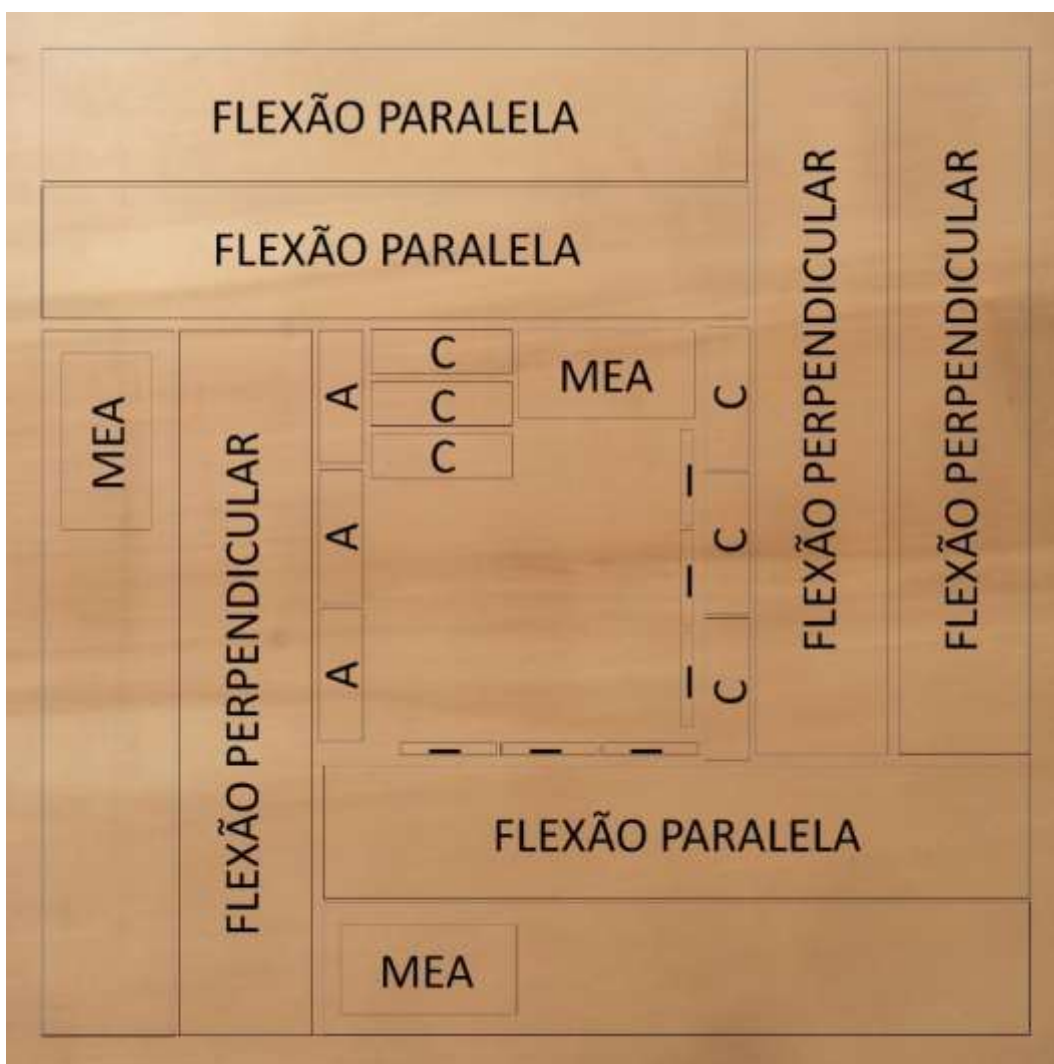
Após a aplicação do adesivo, os painéis foram estabilizados com um tempo de 15 minutos de montagem conforme o recomendado no PNQM da ABIMCI. A prensagem dos painéis ocorreu com 12 kgf.cm⁻² de pressão, por 15 minutos, à temperatura de 110°C para uréia-formaldeído e de 140°C para fenol-formaldeído.

A climatização dos painéis foi realizada conforme as recomendações da ABNT NBR 9489/2011, onde os painéis foram levados à câmara de climatização sob condições ambientais controladas (temperatura de 20±1°C e umidade relativa de 65±5%) tendo a finalidade de obter o teor de umidade de equilíbrio de

aproximadamente 12%. Em seguida, os painéis foram esquadrejados nas medidas de 56,5 x 56,5 cm.

5.3.5. Confeção dos corpos de prova para determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis

Os corpos-de-prova foram cortados conforme as dimensões determinadas nas normas da ABNT, utilizando como fonte de referência o croqui apresentado na Figura 2.



Legenda: MEA: Massa específica aparente / A: Absorção de água / I: Inchamento / C: Colagem

Figura 2. Croqui de localização dos corpos-de-prova.

Na Tabela 5, são apresentadas as dimensões dos corpos-de-prova, a amostragem quantidades e a referência normativa para cada ensaio realizado.

Tabela 5. Ensaio físicos e mecânicos realizados nos painéis multilaminados

ENSAIO	QUANT. (UND)	DIMENSÕES CP (mm)	NORMA UTILIZADA
Massa específica aparente *	3	100 x 50	ABNT NBR 9485/2011
Teor de umidade *	3	100 x 50	ABNT NBR 9484/2011
Absorção de água	3	75 X 25	ABNT NBR 9486/2011
Inchamento	12	10 X 60	ABNT NBR 9535/2011
Flexão estática			
• Paralelo	3	400X 75	ABNT NBR 9533/2011
• Perpendicular	3	400X 75	
Qualidade da colagem			
• Úmido	3	80 X 25	ABNT NBR ISO 12466/1:2006
• Fervura	3	80 X 25	ABNT NBR ISO 12466/2:2006

*Foram utilizados os mesmos corpos de prova para determinação da massa específica aparente e teor de umidade. CP: corpos de prova.

5.3.6. Determinação das propriedades físicas do painel

5.3.6.1. Determinação da massa específica aparente

A determinação da massa específica aparente, foi realizado conforme a norma ABNT NBR 9485/2011, sendo utilizados os mesmos corpos de prova de determinação do teor de umidade. A massa específica aparente de cada corpo-de-prova foi calculada utilizando-se a Expressão 7.

$$MEA = \frac{m}{c.l.e} \quad (7)$$

Onde:

MEA = massa específica aparente (g.cm⁻³);

m = massa do corpo de prova (g);

c = comprimento do corpo de prova (cm);

l = largura do corpo de prova (cm);

e = espessura do corpo de prova (cm).

5.3.6.2. Determinação do teor de umidade

A umidade dos corpos-de-prova foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 9484/2011, onde o teor de umidade de equilíbrio do compensado é

obtido através do condicionamento em câmara de climatização, à temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 5\%$. O teor de umidade foi calculado conforme Expressão 8.

$$TU = \frac{MU - MS}{MS} \cdot 100 \quad (8)$$

Onde:

TU= Teor de umidade (%);

Mu = Massa úmida do corpo de prova (g);

Ms = Massa do corpo de prova após ser seco em estufa à $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até massa constante (g).

5.3.6.3. Determinação da absorção d'água

Para a determinação da absorção em água, utilizou-se a norma da ABNT NBR 9486/2011. Os corpos-de-prova foram secos em estufa a uma temperatura constante de $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ e em seguida pesados. Após, foram imersos em água por 24 horas e procedeu-se nova pesagem. A absorção em água após 24 horas foi calculada utilizando-se a Expressão 9.

$$A = \frac{Mf - Mi}{Mi} \cdot 100 \quad (9)$$

Onde:

A = Absorção de água (%);

Mf = Massa final do corpo de prova (g);

Mi = Massa inicial do corpo de prova (g).

5.3.6.4. Estabilidade dimensional

Utilizou-se a norma ABNT NRB 9535/2011, com uma correção das expressões de inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura, pois a forma de cálculo expressa pela norma para essas variáveis não coincide com a definição dada na mesma norma.

Os corpos-de-prova foram confeccionados com dimensões de 60 x 10 mm e separados em duas séries, sendo uma série para controle e outra para os ensaios. Os corpos-de-prova utilizados para controle foram secos em estufa a $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$ por

24h, e medidos novamente, já a outra série foi imersa em água destilada a $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ por 24h, após este período, os corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a $(103\pm 2)^{\circ}\text{C}$ por 24h, e medidos novamente.

O Inchamento em espessura (I) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR) foram calculados por meio das Expressões 10 e 11.

$$I = \left(\frac{e_1 \cdot e_5}{e_2 \cdot e_3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (10)$$

$$IR = \left(\frac{e_1 \cdot e_4}{e_2 \cdot e_3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (11)$$

Onde:

I = Inchamento em espessura (%);

IR = Inchamento mais recuperação da espessura (%);

e_1 = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, climatizados (mm);

e_2 = soma das espessuras dos corpos-de-prova utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e_3 = soma das espessuras dos corpos-de-prova antes da imersão em água (mm);

e_4 = soma das espessuras dos corpos-de-prova, após a imersão em água, e posterior secagem em estufa (mm).

e_5 = soma das espessuras dos corpos-de-prova após a imersão em água (mm).

5.3.7. Determinação das propriedades mecânicas do painel

5.3.7.1. Flexão estática

O ensaio de flexão estática tem como finalidade verificar a resistência e a rigidez do compensado, por meio do Módulo de Ruptura (MOR) e do Módulo de Elasticidade (MOE). O ensaio ocorreu conforme a norma ABNT NBR 9533/2011. Os corpos-de-prova foram confeccionados com largura de 75 mm e comprimento igual a 25 vezes o valor da espessura, acrescentado de 50 mm para o apoio. Este ensaio foi realizado em máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL 30000.

O Módulo de ruptura (MOR) foi calculado utilizando a Expressão 12 e o Módulo de Elasticidade com a Expressão 13.

$$MOR = \frac{3 \cdot F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2 \cdot l \cdot e^3} \quad (12)$$

Onde:

MOR = Módulo de ruptura (MPa);

F_{máx} = Carga máxima (N);

L = distância entre os centros dos apoios (mm);

l = largura real do corpo-de-prova (mm);

e = espessura real do corpo-de-prova (mm).

$$MOE = \frac{L^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4 \cdot l \cdot e^3 (S_2 - S_1)} \quad (13)$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa);

L = distância entre os centros dos apoios (mm);

l = largura real do corpo-de-prova (mm);

e = espessura real do corpo-de-prova (mm);

F₂-F₁ = incremento de carga, no trecho reto da curva carga-deformação determinado em MPa, com precisão de 1%;

S₂-S₁ = incremento de deflexão, no ponto central do vão, correspondente à F₂ e F₁, determinado em mm, com precisão mínima de 0,01 mm.

5.3.7.2. Qualidade de colagem

A qualidade da colagem foi determinada conforme as normas ABNT NBR ISO 12466-1 e NBR ISO 12466-2:2006. Os pré-tratamentos dos corpos-de-prova utilizados nesse ensaio foram:

- Úmido (24 horas de imersão em água a 20 °C): para os painéis colados com uréia-formaldeído e fenol-formaldeído;
- Fervura (6 horas em água em ebulição, seguida de resfriamento em água a 20 °C, por 1 hora).

O cálculo da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foi realizado utilizando-se a Expressão 14.

$$Tr = \frac{F_{m\acute{a}x}}{a \cdot b} \quad (14)$$

Onde:

- Tr =Tensão de ruptura (MPa);
- F_{máx} = carga de ruptura (MPa);
- a = distância entre sulcos (cm);
- b = largura do corpo de prova (cm).

5.3.8. Análise dos dados

Devido terem sido produzidos painéis para uso interno e externo, a análise foi separada para cada tipo de adesivo utilizado, sendo considerados como dois experimentos com oito tratamentos e três repetições cada.

A análise das propriedades físico-mecânicas dos painéis foi realizada em duas etapas. Primeiro foram determinadas as médias por tratamento, ou seja, por tipo de painel produzido, que foram comparadas com os padrões de qualidade e com os referenciais da literatura. Após, realizou-se uma análise de variância fatorial no delineamento inteiramente casualizado, onde os fatores são:

- Fator 1: Espécies de pinus (2 níveis);
- Fator 2: Composições (4 níveis),

Satisfeitas as prerrogativas de homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett e distribuição normal dos resíduos pelo teste Kolmogorov-Smirnov, foi aplicada a análise de variância com 5% de probabilidade de erro, para os fatores e suas interações. Havendo diferenças significativas, foi aplicado o teste de Tukey para a comparação das médias. Para as análises estatísticas optou por utilizar o software SPSS 19.

As variáveis analisadas foram: massa específica aparente, teor de umidade, absorção d'água, inchamento em espessura e inchamento mais recuperação em espessura, MOE e MOR em flexão estática e qualidade de colagem.

Nas Tabelas 6, 7 e 8 são apresentados os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade dos painéis.

Tabela 6. Requisitos para massa específica aparente para painéis de pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas

ESPESSURA DA CHAPA (mm)	QUANTIDADE DE LÂMINAS		Kg.m ⁻³
15	7	MÁXIMO	591
		MÉDIO	554
		MÍNIMO	517

Fonte: ABIMCI (2002).

Tabela 7. Requisitos para flexão estática para painéis de pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas

ESPESSURA DA CHAPA (mm)	QUANTIDADE DE LÂMINAS	FLEXÃO ESTÁTICA (MPa)				
			MOE	MOR	MOE	MOR
			PARALELA	PERPENDICULAR		
15	7	MÁXIMO	8.823,82	51,78	4.485,46	39,71
		MÉDIO	6.779,33	38,74	3.307,68	28,92
		MÍNIMO	4.734,84	25,79	2.219,90	18,04

Fonte: ABIMCI (2002).

Tabela 8. Resistência da linha de cola do compensado de Pinus com espessura de 15 mm e sete lâminas

ESPESSURA DA CHAPA (mm)	QUANTIDADE DE LÂMINAS	ENSAIO ÚMIDO		
		TENSÃO (MPa)	FM %	
15	7	MÁXIMO	1,9	87
		MÉDIO	1,4	54
		MÍNIMO	0,8	20

FM: Falha na Madeira.

Fonte: ABIMCI (2002).

5.3.8.1. Análise do efeito da construção balanceada

5.3.8.1.1. Variáveis analisadas

Para essa análise foram utilizados os dados obtidos no ensaio de flexão estática (MOR e MOE - paralelo e perpendicular) e também foram realizados

ensaios de estabilidade dimensional dos painéis nos sentidos paralelo e perpendicular à grã das lâminas de capa.

O ensaio de estabilidade dimensional foi realizado com base nas determinações do ensaio de inchamento da ABNT, NBR 9535/2011, com adaptações.

Os corpos-de-prova foram confeccionados com dimensões de 60 x 10 mm e separados em duas séries, sendo uma série para controle e outra para os ensaios. Os corpos-de-prova utilizados para controle foram secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h, e medidos novamente, já a outra série foi imersa em água destilada a $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h, após este período, os corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24h, e medidos novamente.

As variáveis medidas foram o Inchamento Longitudinal (IL), paralelo e perpendicular, considerando à grã da lâmina de capa do painel compensado, conforme Expressão 2.15.

$$IL = \left(\frac{l_1 \cdot l_4}{l_2 \cdot l_3} - 1 \right) \cdot 100 \quad (15)$$

Onde:

IL = Inchamento longitudinal (%);

l_1 = soma dos comprimentos dos corpos-de-prova utilizados como controle, climatizados (mm);

l_2 = soma dos comprimentos dos corpos-de-prova utilizados como controle, secos em estufa (mm);

l_3 = soma dos comprimentos dos corpos-de-prova antes da imersão em água (mm);

l_4 = soma das espessuras dos corpos-de-prova após a imersão em água (mm).

5.3.8.1.2. Análise estatística

Para avaliar o efeito da construção balanceada, o MOR, o MOE e o inchamento longitudinal foram determinados nos sentidos paralelo e perpendicular às lâminas de capa do painel multilaminados. Após, os dados dessas variáveis

foram submetidos à análise da estimativa em função da espessura de lâmina com a grã da madeira disposta no sentido paralelo do painel.

As espessuras de lâminas dispostas desta forma no painel corresponde ao mínimo de lâminas multiplicado pela espessura nominal após a prensagem, ou seja, 1,9 mm.

Desta forma, as variáveis (MOR, MOE e IL) determinadas no sentido perpendicular para as composições de lâminas paralelas de 0; 1,9; 3,9 e 5,8 mm. Por outro lado, as variáveis no sentido paralelo das mesmas composições de lâminas correspondem às espessuras de 13,5; 11,6; 9,6 e 7,7 mm.

Com os dados organizados desta forma, foram determinadas as equações de estimativa das variáveis em função da espessura de lâmina paralela por meio de análise de regressão, considerando o valor R^2 , erro padrão da estimativa e a significância da equação a 95% de confiança.

5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1. Painéis colados com uréia-formaldeído (uso interno)

5.4.1.1. Propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso interno

A média dos valores das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso interno estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9. Valores médios para as propriedades físicas dos painéis multilaminados dos painéis de uso interno.

TRAT.	ESPÉCIE	COMP.	MEA (g.cm ⁻³)	TU (%)	E (mm)	A (%)	I (%)	IR (%)
T1	<i>P. patula</i>	1	0,44	10,61	13,36	102	4,32	1,56
T2	<i>P. taeda</i>	1	0,52	10,71	13,72	95	6,33	3,05
T3	<i>P. patula</i>	2	0,43	10,75	13,67	101	6,39	2,40
T4	<i>P. taeda</i>	2	0,53	11,05	13,88	97	6,98	2,43
T5	<i>P. patula</i>	3	0,43	10,84	13,54	101	5,75	2,02
T6	<i>P. taeda</i>	3	0,52	10,96	13,63	95	8,02	3,12
T7	<i>P. patula</i>	4	0,46	10,81	13,45	104	6,37	2,91
T8	<i>P. taeda</i>	4	0,54	10,78	13,83	95	9,53	3,94

TRAT.: Tratamento; COMP.: Composição; MEA: Massa específica aparente (g.cm⁻³); TU: Teor de umidade (%); E: Espessura (mm); A: Absorção d' água (%); I: Inchamento em espessura (%); IR: Inchamento mais recuperação em espessura (%).

Os resultados para massa específica aparente variaram de 0,43 g.cm⁻³ (T3 e T5) à 0,54 g.cm⁻³ (T8) (Tabela 6). As médias obtidas para os painéis confeccionados com *Pinus patula* foram inferiores aos sugeridos pelos padrões de qualidade do Catálogo Técnico da ABIMCI (2002), que é de 0,52 g.cm⁻³ (Tabela 6 – pg. 63).

As médias dos teores de umidade (TU) variaram de 10,61 % (T1) à 11,05 % (T6). Os painéis de todos os tratamentos apresentaram TU em conformidade com os parâmetros técnicos da ABIMCI (2009), que sugere valores abaixo de 11%.

A espessura média dos painéis variou de 13,36 mm (T1) à 13,88 mm (T4). Considerando que a espessura nominal esperada foi de 13,5 mm, todos os tratamentos estão em conformidade com os padrões da ABIMCI (2009), que sugere uma variação de +/- 5% da espessura nominal.

Os valores médios de absorção d' água variam de 95 % (T2, T6 e T8) à 104 % (T7), de Inchamento em espessura de 4,32 % (T1) à 9,53 % (T8) e Inchamento mais recuperação em espessura 1,56 (T1) a 3,94 (T8) (Tabela 9).

Iwakiri *et al.* (2001), com *Pinus caribaea*, *Pinus chiapensis*, *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* e *Pinus tecunumanii*, obteve valores médios de inchamento em espessura que variaram de 5,06% à 7,09 % e para recuperação em espessura de 1,68% à 2,89%, valores médios similares ao deste estudo.

Todas as variáveis apresentaram diferença estatística para os fatores espécie e composição (Tabela 10). Em relação à espécie, verificou-se maior massa específica dos painéis confeccionados com *Pinus taeda*, que também apresentaram maior teor de umidade e espessura.

Tabela 10. Influência das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso interno

FATORES	ESPÉCIE	MEA (g.cm ⁻³)	TU (%)	E (mm)	A (%)	I (%)	IR (%)
1	<i>P. patula</i>	0,44 b	10,75 b	13,51 b	101,90 a	5,71 b	2,22 b
	<i>P. taeda</i>	0,53 b	10,87 a	13,76 a	95,90 b	7,72 a	3,14 a
	F. calculado	169,36*	7,46*	88,51*	42,697*	25,808*	10.225*
COMPOSIÇÕES							
2	1	0,49 ab	10,66 b	13,54 c	98,80 a	5,32 b	2,30 b
	2	0,49 ab	10,90 a	13,78 a	99,10 a	6,68 ab	2,42 ab
	3	0,48 b	10,90 a	13,59 bc	98,00 a	6,89 ab	2,57 ab
	4	0,50 a	10,79 a	13,64 b	99,70 a	7,95 a	3,43 a
	F. calculado	2,75*	9,79*	14,03 *	0,609 ns	4,425*	3.215*
INTERAÇÃO (F1 X F2)		0,53 ns	2,04 ns	6,23 *	1,430 ns	2,432 ns	1.191 ns

MEA: Massa específica aparente (g.cm⁻³); TU: Teor de umidade (%); E: Espessura (mm); A: Absorção d' água (%); I: Inchamento em espessura (%); IR: Inchamento mais recuperação em espessura (%). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

A massa específica aparente (MEA) foi superior nos painéis de *Pinus taeda*, apresentando a mesma variação da massa específica básica da madeira, ou seja, a MEA da chapa de compensado é maior que a massa específica básica da madeira.

Em relação à composição, verifica-se que a composição 4 apresentou maiores valores de massa específica que a composição 1. Isso, demonstra que a composição típica do compensado pode influir também nessas propriedades, além daquelas que sofrem influência direta da construção balanceada (flexão estática e estabilidade dimensional).

As madeiras de baixa massa específica sofrem com a redução em espessura e perdas volumétricas quando expostas a alta pressão (IWAKIRI, 2005).

Todas as variáveis apresentaram diferença estatística para o fator espécie, enquanto para composição houve diferença no Inchamento em espessura e no Inchamento mais recuperação em espessura.

Um material com menor massa específica apresenta maior porosidade e dessa forma, pode ser ocupada com maior quantidade de água livre (GUIMARÃES JR. *et al.* 2009). Albino *et al.* (2011) explica que os painéis compostos de lâminas com baixa massa específica têm tendência a absorverem mais água. Efeito confirmado pelo ensaio de absorção de água realizado.

O Inchamento e Inchamento mais recuperação em espessura dos painéis estão relacionados com os fatores de massa específica básica da madeira e pressão aplicada para a consolidação do painel. Quando ocorre a compactação dos poros e fibras da madeira, a massa específica aparente dos painéis aumenta, acarretando no aumento das tensões internas de compressão.

Arruda (2012) esclarece que, quando o material é comprimido e tratado termo-mecanicamente apresenta acúmulo de tensões internas de compressão, as quais são liberadas quando o material é exposto a água, além do próprio inchamento da madeira pelo fato de ser higroscópica.

Medina (1986), explica que durante a prensagem dos painéis compensados ocorre um acréscimo da massa específica e tensões internas, alterando a estabilidade dimensional na direção da compressão. No momento da absorção d'água as tensões são liberadas e, quando o material é seco, não recupera sua espessura original.

Dessa forma, acredita-se que o maior inchamento e maior inchamento mais recuperação em espessura apresentado pelos painéis produzidos com *Pinus taeda* se deva à maior massa específica apresentada por esses painéis.

A interação entre os fatores só ocorreu para a variável espessura dos painéis, sendo sua análise apresentada na Tabela 11.

Tabela 11. Interação entre os fatores espécie e composição na espessura dos painéis de uso interno

ESPÉCIE	COMPOSIÇÃO			
	1	2	3	4
<i>P. patula</i>	13,36 bC	13,67bA	13,55aAB	13,45bBC
<i>P. taeda</i>	13,72aBC	13,88 aA	13,63aC	13,83 aAB

Mesmas letras indicam médias estatisticamente equivalentes. Letras maiúsculas na composição e letras minúsculas na espécie. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que a composição 3 não diferiu em espessura entre as espécies, enquanto nas demais composições os painéis de *Pinus taeda* tiveram maior espessura. No entanto, considerando que a variação de espessura entre os painéis dos diferentes tratamentos não supera 3% (Tabela 10), atribuiu-se os efeitos principais dos fatores e a interação às variáveis não controladas do experimento.

5.4.1.2. Propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso interno

Na Tabela 12, estão apresentados os valores médios para as propriedades mecânicas dos painéis multilaminados. Para os ensaios de colagem (Tr e F.M) foi testada a lâmina mais interna do painel, por se considerar que é onde está a linha de cola que demandaria mais tempo para a cura. Nesse ensaio, foram desconsiderados os valores obtidos nos tratamentos 1 e 2, ou seja, os que foram produzidos na composição 1, tendo em vista que essa composição não permite obter corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio.

Tabela 12. Valores médios para as propriedades mecânicas dos painéis multilaminados dos painéis de uso interno.

TRAT.	ESPÉCIE	COMP.	PERPENDICULAR		PARALELO		Tr (MPa)	F.M. (%)
			MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)		
T1	<i>P. patula</i>	1	2,7	263	55,9	7.074	*	*
T2	<i>P. taeda</i>	1	2,9	350	56,7	7.652	*	*
T3	<i>P. patula</i>	2	4,1	266	40,7	4.681	1,0	20
T4	<i>P. taeda</i>	2	6,4	343	48,9	6.867	0,9	20
T5	<i>P. patula</i>	3	11,2	658	41,1	5.128	1,0	20
T6	<i>P. taeda</i>	3	16,3	1.080	48,6	6.638	0,6	10
T7	<i>P. patula</i>	4	27,3	2.732	33,9	4.689	1,0	20
T8	<i>P. taeda</i>	4	26,4	2.300	39,7	5.131	0,8	20

TRAT.: Tratamento; COMP.: Composição; MOR: Modulo de ruptura (MPa); MOE: modulo de elasticidades (MPa); Tr: Tensão de ruptura (MPa); F.M. Falha na madeira (%). *Foram desconsiderados os tratamentos 1 e 2 por não permitirem obter corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio.

Os valores médios para o MOR perpendicular variam entre 2,7 MPa (T1) a 27,3 MPa (T7) e no sentido paralelo de 33,9 MPa (T7) a 56,7 MPa (T2). Para MOE perpendicular a variação foi de 263 MPa (T1) a 2.732 (T7) e o paralelo de 4.681 MPa (T3) a 7.652 MPa (T2).

Quando comparados aos parâmetros da ABIMCI (2002), descritos na Tabela 7 (pg. 63), somente os tratamentos T7 e T8 atingiram os parâmetros exigidos para

MOR e MOE perpendicular, entretanto para MOR e MOE paralelo todos os tratamentos atingiram os parâmetros mínimos estabelecidos.

Os tratamentos T7 e T8 representam a composição típica de um painel compensado comercial e, em princípio, devem apresentar o melhor balanceamento de propriedades entre todas as composições.

Iwakiri *et al.* (2012), avaliando as propriedades de painéis compensados de madeira produzidos com *Pinus taeda* (0,57 g.cm⁻³), *Pinus oocarpa* (0,56 g.cm⁻³), *Pinus caribaea hondurensis* (0,46 g.cm⁻³), *Pinus chiapensis* (0,39 g.cm⁻³), *Pinus maximinoi* (0,41 g.cm⁻³) e *Pinus tecunumanii* (0,55 g.cm⁻³) com idade de 20 a 25 anos, verificou valores de MOR e MOE paralelo de 58 a 102 MPa e 6.300 a 13.714 MPa, respectivamente. No sentido perpendicular, o MOR e MOE encontrados foram de 29 a 45 MPa e de 2.046 a 3.841 MPa.

Iwakiri *et al.* (2002), obteve para painéis compensados produzidos com madeira de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, com idades de 20 e 24 anos e massa específica básica de 0,48 e 0,47 g.cm⁻³, valores médios de MOE de 8.768 MPa e 11.330 MPa, respectivamente. Para o MOR, os valores médios foram de 67 MPa e 75 MPa, respectivamente.

Iwakiri *et al.* (2001), com cinco espécies de pinus tropicais *Pinus caribaea* (0,43 g.cm⁻³), *Pinus chiapensis* (0,42 g.cm⁻³), *Pinus maximinoi* (0,483 g.cm⁻³), *Pinus oocarpa* (0,505 g.cm⁻³), *Pinus tecunumanii* (0,491 g.cm⁻³) e *Pinus taeda* (0,436 g.cm⁻³), com 10 anos de idade, encontrou valores de MOR para painéis compensados que variam de 31 MPa para o *Pinus taeda* a 38 MPa do *Pinus maximinoi*, e para MOE de 3.802 MPa para o *Pinus caribaea* a 6.706 MPa do *Pinus maximinoi*.

Os valores médios para resistência na linha de cola úmida, variam de 0,6 MPa (T6) à 1,0 MPa (T3, T5 e T7). O tratamento T6 não atingiu os requisitos mínimos estipulados pela ABIMCI (2002), descritos na Tabela 8 (pg. 64).

Iwakiri *et al.* (2012), encontraram valores de Tr de 0,85 à 1,59 MPa. Iwakiri *et al.* (2001), verificaram valores médios de Tr variando de 0,55 a 1,31 MPa. Em ambos os casos, os valores médios gerais foram semelhantes aos encontrados nesse trabalho.

Na Tabela 13 são apresentados os valores médios para as propriedades mecânicas dos painéis para cada nível de fator estudado.

Os valores foram diferentes para MOR, perpendicular e paralelo, e para MOE paralelo considerando os fatores espécie e composição dos painéis, sendo que os painéis confeccionados com *Pinus taeda* apresentaram maiores valores. Para MOE perpendicular, os valores foram iguais para as diferentes espécies e diferentes entre as, as composições estudadas. Houve interação entre os fatores somente para MOE, paralelo e perpendicular.

Tabela 13. Influência dos fatores nas propriedades mecânicas dos painéis de uso interno

FATORES	ESPÉCIE	PERPENDICULAR		PARALELO		Tr (MPa)
		MOR	MOE	MOR	MOE	
1	<i>P. patula</i>	11,3 b	980 a	42,9 b	5393 b	1,0 a
	<i>P. taeda</i>	13,0 a	1018 a	48,5 a	6572 a	0,8 b
F. calculado		9,648*	0,901 ns	7,605*	21,763*	5,012*
COMPOSIÇÕES						
2	1	2,8 c	307 c	56,3 a	7363 a	**
	2	5,2 c	304 c	44,8 b	5774 bc	0,9 a
	3	13,7 b	869 b	44,8 b	5883 b	0,8 a
	4	26,9 a	2.516 a	36,8 c	4910 c	1,0 a
F. calculado		458,505*	520,881*	15,462*	14,593*	1,824 ns
INTERAÇÃO (F1XF2)		1,651 ns	3,265*	0,778 ns	14,593*	1,779 ns

MOR: Módulo de ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; Tr: Tensão de ruptura (MPa); **Foi desconsiderada a composição 1 por não permitirem obter corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; *: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Na análise das composições dos painéis, ocorreu o aumento dos valores de resistência e de rigidez dos painéis, no sentido perpendicular, da composição 1 para a composição 4, e a diminuição dessas propriedades no sentido paralelo. Essa variação era esperada e confirma o efeito do balanceamento no painel. A discussão dos efeitos da composição dos painéis em suas propriedades está detalhada no item 5.4.3. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis compensados.

Os painéis confeccionados com madeira de *Pinus taeda* terem apresentado maiores valores de MOR e MOE paralelos e de MOR perpendicular foi atribuído à maior massa específica aparente destes painéis. Semelhante ao relatado por Albino *et al.* (2011).

Observou-se que os painéis produzidos com *Pinus patula* apresentaram as maiores médias de Tr, sendo constatada diferença estatística significativa. Entre as

composições, não houve diferença estatística e a interação entre os fatores não foi significativa.

O fato dos painéis produzidos com *Pinus patula* terem apresentado melhores resultados de Tr demonstra que a colagem desses painéis foi melhor que as de *Pinus taeda*. Isso foi atribuído ao melhor “ancoramento” obtido nas lâminas produzidas com essa espécie, em função da penetração do adesivo ter sido maior devido sua menor massa específica.

Na Tabela 14 está apresentada a análise estatística da interação dos fatores espécie e composição do painel no MOE, perpendicular e paralelo.

Tabela 14. Interação dos fatores espécie e composição do painel no MOE, perpendicular e paralelo, para os painéis de uso interno

COMPOSIÇÃO	MOE PERPENDICULAR (MPa)		MOE PARALELO (MPa)	
	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>
1	263 aC	387 aC	7074 aA	7609 aA
2	266 aC	286 aC	4681 bB	6867 aA
3	658 bB	878 aB	5128 bB	6867 aA
4	2.732 aA	2.545 aA	4689 aB	5132 aB

Mesmas letras indicam médias estatisticamente equivalentes. Letras maiúsculas na vertical e letras minúsculas na horizontal. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os painéis confeccionados com *Pinus patula* tem maior variação de MOE perpendicular da composição 1 para a composição 4 do que os painéis produzidos com *Pinus taeda*, ou seja, sofreram maior influência da composição. Isso demonstra que a composição 4 (de um compensado típico) favoreceu mais o aumento de rigidez dos painéis de *Pinus patula* em relação aos de *Pinus taeda*. Por outro lado, o valor médio por espécie foi semelhante, não apresentado diferença estatística.

Com a interação do MOE perpendicular e paralelo, torna-se possível verificar que a composição 3 de *Pinus patula* diferiu estatisticamente do *Pinus taeda*.

5.4.2. Painéis colados com fenol-formaldeído (uso externo)

5.4.2.1. Propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo

A média dos valores das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo, separados por tratamento, são apresentados na Tabela 15.

Os resultados para massa específica aparente variaram de 0,43 g.cm⁻³ (T12 e T14) à 0,47 g.cm⁻³ (T9, T10, T11 e T15) (Tabela 15). As médias obtidas para os painéis confeccionados foram inferiores aos sugeridos pelos padrões de qualidade do Catálogo Técnico da ABIMCI (2002), que é de 0,52 g.cm⁻³ (Tabela 7 – pg. 63).

Tabela 15. Valores médios das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo

TRATAMENTO	ESPÉCIE	COMPOSIÇÃO	MEA (g.cm ⁻³)	TU (%)	E (mm)	A (%)	I (%)	IR (%)
T9	<i>P. patula</i>	1	0,47	10,06	13,04	102,4	8,28	2,97
T10	<i>P. taeda</i>	1	0,47	10,50	13,42	91,2	7,88	3,33
T11	<i>P. patula</i>	2	0,47	10,38	12,90	101,5	7,72	2,93
T12	<i>P. taeda</i>	2	0,43	10,56	13,03	99,2	7,50	2,37
T13	<i>P. patula</i>	3	0,46	10,65	13,14	100,8	7,20	2,26
T14	<i>P. taeda</i>	3	0,43	10,48	13,10	96,2	8,27	2,35
T15	<i>P. patula</i>	4	0,47	10,40	13,27	99,6	8,20	3,11
T16	<i>P. taeda</i>	4	0,45	10,64	13,06	98,6	8,93	2,30

MEA: Massa específica aparente; TU: Teor de umidade; E: Espessura; A: Absorção d' água (%); I: Inchamento em espessura (%); IR: Inchamento mais recuperação em espessura (%).

As médias dos teores de umidade (TU) variaram de 10,06 % (T9) à 10,65 % (T14). Os painéis de todos os tratamentos apresentaram TU em conformidade com os parâmetros técnicos da ABIMCI (2009), que sugere valores abaixo de 11%.

A espessura média dos painéis variou de 13,09 mm (T9) à 13,48 mm (T10). Considerando que a espessura nominal esperada foi de 13,5 mm, todos os tratamentos estão em conformidade com os padrões da ABIMCI (2009), que sugere uma variação de +/- 5% da espessura para painéis.

Os valores médios de absorção d' água variam de 91,16 % (T10) à 102,41 % (T9), Inchamento em espessura de 7,20 % (T13) à 8,93 % (T16) e Inchamento mais recuperação em espessura 2,26 % (T13) à 3,33 % (T10) (Tabela 15).

Almeida *et al.* (2013) apresenta 61,9 % de absorção de água para *Pinus sp.*, Silva *et al.* (2012) obteve média de absorção de água de 63,8% com *Pinus taeda*,

Campos *et al.* (2009) encontrou média de 64,8 % com *Pinus sp.* resultados inferiores ao encontrados neste estudo.

Almeida *et al.* (2013), apresentou resultados para inchamento em espessura (I) e para inchamento mais recuperação em espessura (IR) de painéis de *Pinus sp.* de 11,67 % e 2,74%, respectivamente. Silva *et al.* (2012) estudando *Pinus taeda*, encontrou valores de 7,30 % e 2,80 %. Iwakiri *et al.* (2001), encontraram valores de 7,75 % e de 1,30 %, todos similares ao deste estudo para I e inferiores para IR.

O inchamento em espessura e o inchamento mais recuperação em espessura dos painéis estão relacionados com a massa específica básica da madeira e pressão aplicada para a consolidação do painel (referencia). No momento da prensagem do painel acontece a compactação dos poros e fibras da madeira. Quando o material é comprimido e tratado termo-mecanicamente as tensões internas são acumuladas e, quando o painel é exposto à água, são liberadas e potencializadas pela capacidade higroscópica da madeira (ARRUDA, 2012).

Durante a compactação dos painéis compensados aumenta-se a massa específica e as tensões internas, modificando a estabilidade dimensional do painel no sentido da compressão. Essas tensões são liberadas no momento da absorção d'água, de modo que o painel não recupera seu estado original (MEDINA, 1986). Esses conceitos explicam os valores observados de I e de IR dos painéis produzidos nesse estudo.

Quando se compara os valores de AA, I e IR dos painéis de uso externo com os de uso interno se verifica que foram semelhantes. Embora os painéis de uso externo sejam colados com cola resistente à umidade, essas variáveis são influenciadas pela absorção de água que ocorre pelas lâminas e que nesse caso é mais influenciada pela espessura da lâmina do que pelo tipo de adesivo usado.

Na Tabela 16 observa-se a análise fatorial dos valores médios das propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo para cada nível de fator estudado.

A variável MEA apresentou diferença estatística para os fatores espécie e composição, para TU ocorreu diferença estatística somente para o fator espécie e para espessura houve diferença estatística para as composições e a interação entre espécies e composições. Assim verificou-se a maior massa específica dos painéis

confeccionados com *Pinus patula*. Os painéis de *Pinus taeda* apresentaram maiores teores de umidade.

Tabela 16. Influência dos fatores nas propriedades físicas dos painéis multilaminados de uso externo

FATORES	ESPÉCIE	MEA	TU	E	A	I	IR
1	<i>P. patula</i>	0,47 a	10,37 b	13,09 a	101,11 a	7,86 a	2,82 a
	<i>P. taeda</i>	0,45 b	10,54 a	13,15 a	96,30 b	8,15 a	2,59 a
	F. calculado	14,878*	4,058 *	1,110ns	7,242*	0,265ns	0,327ns
COMPOSIÇÕES							
2	1	0,47 a	10,28 a	13,23 a	96,78 a	8,08 a	3,15 a
	2	0,45 b	10,47 a	12,97 b	100,37 a	7,61 a	2,65 a
	3	0,45 b	10,57 a	13,12 ab	98,55 a	7,74 a	2,30 a
	4	0,46ab	10,52 a	13,17 ab	99,10 a	8,56 a	2,71 a
	F. calculado	3,720*	2,172 ns	3,287*	0,694 ns	0,546 ns	0,755ns
INTERAÇÃO (F1XF2)		2,137 ns	2,165 ns	4,261*	1,605 ns	0,386 ns	0,470 ns

MEA: Massa específica aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$); TU: Teor de umidade (%); E: Espessura (mm); A: Absorção d' água (%); I: Inchamento em espessura (%); IR: Inchamento mais recuperação em espessura (%). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey; * significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Os valores médios não apresentaram a variação esperada em função da massa específica básica da madeira, pois a massa específica aparente dos compensados de *Pinus patula* foi maior que a do *Pinus taeda*. Além disso, a espessura média dos painéis de ambas as espécies não foi diferente.

Durante o processo de produção e consolidação do painel é comum a redução em espessura e perdas volumétricas. Essa variação ocorreu com os painéis confeccionados com o adesivo uréia-formaldeído, entretanto, não ocorreu com fenol-formaldeído.

Os tratamentos T12 e T14 apresentaram uma queda brusca na massa específica aparente dos painéis, isto ocorreu porque os lotes de lâminas utilizadas possuíam massa específica básica inferior ao do *Pinus patula*.

Em relação às composições, verificou-se diferença estatística de massa específica somente entre a composição 1 e as composições 2 e 3, e os valores médios variaram de $0,45 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ a $0,47 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, considerada uma variação pequena e de pouca influência nas propriedades dos painéis. O mesmo ocorreu para os valores médios por composição de espessura dos painéis.

Somente a variável absorção d'água apresentou diferença estatística para o fator espécie, enquanto as demais variáveis não apresentaram diferença estatística

para esse fator. Para o fator composição do painel nenhuma variável foi diferente estatisticamente e a interação entre fatores também não foi significativa.

Os painéis de *Pinus patula* apresentaram a maior média de absorção d'água. Segundo Guimarães Jr. *et al.* (2009) e Albino *et al.* (2011), os valores obtidos para absorção d'água são relacionados à massa específica básica da madeira, diante da premissa que madeiras com baixa massa específica apresentam maior porosidade e absorvem mais água. Assim, a maior absorção de água pelos painéis de *Pinus patula* foi atribuída a sua menor massa específica.

A interação entre os fatores das propriedades físicas dos painéis multilaminados para a variável espessura (Tabela 17).

Tabela 17. Interação entre os fatores espécie e composição na espessura dos painéis de uso externo

ESPÉCIE	COMPOSIÇÃO			
	1	2	3	4
<i>P. patula</i>	13,04 bAB	12,90 aB	13,14 aAB	13,27 aA
<i>P. taeda</i>	13,42 aA	13,03 aB	13,10 aAB	13,06 aB

Mesmas letras indicam médias estatisticamente equivalentes. Letras minúsculas refere-se a espécie e maiúscula a composição. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A composição 1 diferiu em espessura entre as espécies, enquanto nas demais composições não diferiram. Entretanto, considerando que a variação de espessura entre os painéis dos diferentes tratamentos não supera 4% (Tabela 15), atribuiu-se os efeitos principais dos fatores e a interação às variáveis não controladas do experimento.

5.4.2.2. Propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo

Na Tabela 18, estão apresentados os valores médios das propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo. Não foi realizado o ensaio de cisalhamento nos tratamentos T9 e T10 pois não apresentam corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio.

Os valores médios para o MOR perpendicular variaram entre 2,9 MPa (T10) à 27,8 MPa (T15) e no sentido paralelo de 40,1 MPa (T16) à 55,3 MPa (T9). Para MOE perpendicular a variação foi de 292 MPa (T12) à 2278 (T15) e para o MOE paralelo de 5500 MPa (T13) à 7139 MPa (T12).

Tabela 18. Valores médios por tratamento de MOR e MOE em flexão estática, paralelo e perpendicular, dos painéis de uso externo

TRAT.	ESPÉCIE	COMP.	PERPENDICULAR		PARALELO		ÚMIDO		FERVURA	
			MOR	MOE	MOR	MOE	Tr	F.M.	Tr	F.M.
			(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)
T9	<i>P. patula</i>	1	3,4	313	55,3	6784	*	*	*	*
T10	<i>P. taeda</i>	1	2,9	376	40,6	5317	*	*	*	*
T11	<i>P. patula</i>	2	5,1	305	54,7	7136	1,0	30	0,8	20
T12	<i>P. taeda</i>	2	4,8	292	48,1	7139	1,0	30	0,8	20
T13	<i>P. patula</i>	3	9,8	650	44,4	5500	0,8	40	0,7	40
T14	<i>P. taeda</i>	3	15,3	1009	42,6	6116	0,9	30	0,8	20
T15	<i>P. patula</i>	4	27,8	2278	54,7	7136	0,9	30	0,8	20
T16	<i>P. taeda</i>	4	25,1	2254	40,1	5864	1,0	30	0,9	25

TRAT.: Tratamentos; COMP.: Composições; MOR: Modulo de ruptura (MPa); MOE: modulo de elasticidades (MPa); Tr: Tensão de ruptura (MPa); F.M. Falha na madeira (%). *Foram desconsiderados os tratamentos 9 e 10 por não permitirem obter corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio.

Os tratamentos T15 e T16 atingiram os valores mínimos previstos para MOR e MOE perpendicular, contudo, no sentido paralelo, todos os tratamentos atingiram os parâmetros mínimos estabelecidos pela ABIMCI (Tabela 7. pg. 63).

Os tratamentos T15 e T16 representam a composição típica de um painel compensado comercial e devem apresentar o melhor balanceamento de propriedades entre todas as composições.

Na Tabela 19 estão apresentados os valores médios de MOR e de MOE verificados em trabalhos de pesquisa com painéis compensados produzidos com lâminas de madeira de diferentes espécies.

Tabela 19. Valores médios de MOR e MOE paralelo em flexão estática para painéis compensados produzidos com lâminas de diferentes espécies do gênero *Pinus sp.*

AUTOR	ESPÉCIE	IDADE (anos)	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)
Iwakiri <i>et al.</i> 2001	<i>P. oocarpa</i>	10	51,2	6352
	<i>P. taeda</i>	10	57,3	5688
Iwakiri <i>et al.</i> 2002	<i>P. taeda</i>	20	66,2	11062
	<i>P. oocarpa</i>	24	56,4	8680
Iwakiri <i>et al.</i> 2009	<i>P. oocarpa</i>	16	60,8	5195
	<i>P. taeda</i>	16	62,2	6394

Fontes: Iwakiri *et al.* 2001; Iwakiri *et al.* 2002; Iwakiri *et al.* 2009

Os resultados estão abaixo dos encontrados na literatura, essa variação acontece por influências das características genéticas e condições edafo-climáticas de cada reflorestamento.

Os valores médios para resistência na linha de cola úmida, variaram de 0,8 MPa (T13) à 1,0 MPa (T11, T12 e T16) e para fervura de 0,7 MPa (T13) à 0,9 MPa (T16). Diante disso, o tratamento T13, em fervura, não atingiu os requisitos mínimos estipulados pela ABIMCI (2002) descritos na Tabela 9 (pg. 65).

Verifica-se que as médias de Tr do ensaio úmido foram maiores que para fervura, o que é devido à menor severidade do ensaio. Ainda, cabe ressaltar que o *Pinus taeda* apresentou as maiores médias quando comparado com o *Pinus patula*. Esse fenômeno pode ser observado em madeiras com alta porosidade, acarretando em excessiva penetração de adesivos, enfraquecendo as ligações entre substratos, ou seja, ocasionando a chamada linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005).

A Tabela 20 apresenta valores médios para tensão de cisalhamento da linha de cola encontrados na literatura de painéis compensados de lâminas de madeira de algumas espécies de *Pinus* sp.

Tabela 20. Valores para flexão estática para *pinus* encontrados na literatura

AUTOR	ESPÉCIE	IDADE (ANOS)	Tr (ÚMIDO)	Tr (FERVURA)
Iwakiri et al. 2001	<i>P. oocarpa</i>	10	-	1,3
	<i>P. taeda</i>	10	-	1,4
Iwakiri et al. 2002	<i>P. taeda</i>	20	-	1,1
	<i>P. oocarpa</i>	24	-	1,3
Iwakiri et al. 2006	<i>P. taeda</i> /F1	-	1,4	1,0
	<i>P. taeda</i> /F2	-	2,0	1,4
Iwakiri et al. 2009	<i>P. oocarpa</i>	16	-	1,1
	<i>P. taeda</i>	16	-	1,3

Fontes: Iwakiri et al. 2001; Iwakiri et al. 2002; Iwakiri et al. 2006; Iwakiri et al. 2009

Verifica-se que os valores encontrados neste estudo foram inferiores aos relacionados na literatura, destacando em especial os valores verificados para painéis de *Pinus taeda*.

Na Tabela 21 são apresentadas as análises fatorial dos valores médios das propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo para cada nível de fator estudado.

Houve diferença estatística no MOR e MOE paralelo para o fator espécie; as composições dos painéis apresentaram diferença estatística para todas as variáveis de flexão estática e a interação só não foi significativa para MOE perpendicular.

Na análise das composições dos painéis, os valores de resistência e de rigidez dos painéis, no sentido perpendicular, da composição 1 para a composição 4

foram maiores. O efeito do balanceamento no painel foi observado com a variação das médias dos tratamentos. A discussão do efeito do balanceamento nos painéis é detalhando no item 5.4.3. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis compensados.

Tabela 21. Influência dos fatores nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados de uso externo

FATORES	ESPÉCIE	PERPENDICULAR		PARALELO		Tr	Tr
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	(ÚMIDO) (MPa)	(FERVURA) (MPa)
1	<i>P. patula</i>	11,5 a	887 a	52,3 a	6639 a	0,86 b	0,76 b
	<i>P. taeda</i>	12,0 a	983 a	42,8 b	6109 b	0,95 a	0,83 a
	F. calculado	0,755 ns	2,843 ns	26,336*	4,767*	1,610*	5,145*
COMPOSIÇÕES							
2	1	3,2 a	345 a	47,9 ab	6051 a	**	**
	2	4,9 a	299 a	51,4 b	7138 b	1,00 a	0,83 a
	3	12,6 b	829 b	43,5 a	5808 a	0,84 b	0,72 b
	4	26,4 c	2266 c	47,3 ab	6500 ab	0,91 ab	0,84 a
	F. calculado	338,965*	260,570*	3,064*	5,796*	3,526*	5,955*
INTERAÇÃO (F1XF2)		9,56*	2,467 ns	2,973*	4,281*	0,173ns	2,174ns

MOR: Modulo de ruptura (MPa); MOE: modulo de elasticidades (MPa).As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Tr: Tensão de ruptura (MPa); F.M. Falha na madeira (%);**Foi desconsiderada a composição 1 por não permitirem obter corpos de prova com a disposição da grã das lâminas adequada ao ensaio. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey;*: significativo a 5% de probabilidade de erro; ns: não significativo.

Albino *et al.* (2011) relata que os melhores resultados de flexão estática dos painéis compensados estão relacionados à maiores massas específicas aparentes. Entretanto, esse efeito não foi observado para as variáveis de MOR e MOE paralelo, podendo ser explicado pela porcentagem de lenho tardio presente nas lâminas dos painéis.

Os painéis produzidos com *Pinus taeda* apresentaram as maiores médias de Tr. Entre as composições, ocorreu diferença estatística e a interação entre os fatores não foi significativa.

O fato dos painéis produzidos com *Pinus taeda* terem apresentado melhores resultados de Tr demonstra que a colagem desses painéis foi melhor que as de *Pinus patula*. Isso foi atribuído ao melhor “ancoramento” obtido nas lâminas produzidas com essa espécie, em função da penetração do adesivo e formação de linha cola satisfatória.

Na Tabela 22 está apresentada a análise da interação dos fatores espécie e composição do painel nas variáveis MOR perpendicular, MOR paralelo e MOE paralelo

Tabela 22. Interação dos fatores espécie e composição no MOR perpendicular e paralelo e no MOE paralelo em flexão estática dos painéis de uso externo

COMP.	PERPENDICULAR		PARALELO			
	MOR		MOR		MOE	
	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>	<i>P. patula</i>	<i>P. taeda</i>
1	3,4 aC	3,2 aC	55,3 aA	39,7 bA	6784 aA	5131 bB
2	5,1 aC	4,8 aC	54,7 aA	48,1 aA	7136 aA	7139 aA
3	9,8 bB	15,3 aB	44,4 aB	42,6 aA	5500 aB	6116 aAB
4	27,8 aA	25,1 bA	54,7 aA	40,0 bA	7136 aA	5864 bB

Comp: Composição, MOR: Modulo de ruptura (MPa),e MOE: modulo de elasticidades (MPa).Mesmas letras indicam médias estatisticamente equivalentes. Letras minúsculas refere-se a espécie e maiúscula a composição. Foi aplicado o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na interação do MOR perpendicular verifica-se que as composições 1 e 2 são semelhantes estatisticamente a nível de espécie e composição; a composição 3 apresenta diferença estatística a nível de espécie e composição; já a composição 4 ocorre a diferença estatística a nível de espécie.

O MOR paralelo apresenta as composições 1 e 3 com diferença estatística a nível de composição; com a composição 4 a diferença estatística ocorre a nível de espécie. Já o MOE paralelo mostra que as composições 1 e 4 são semelhantes estatisticamente e a composição 3 apresenta diferença estatística a nível de composição.

5.4.3. Efeito do balanceamento nas propriedades mecânicas dos painéis multilaminados

Na Figura 3 são apresentados os gráficos de MOR e de MOE, em flexão estática, em função da espessura de lâminas dispostas no sentido paralelo à grã da lamina de capa do painel, juntamente com a linha de tendência obtida por regressão linear. É possível verificar que mesmo desconsiderando o momento de inércia, ou seja, a posição das lâminas em relação à linha neutra, e que também desconsiderando os efeitos das linhas de cola nas propriedades dos painéis, existe uma relação linear significativa entre essas propriedades e a espessura de lâminas dispostas com a grã da madeira no sentido paralelo do painel.

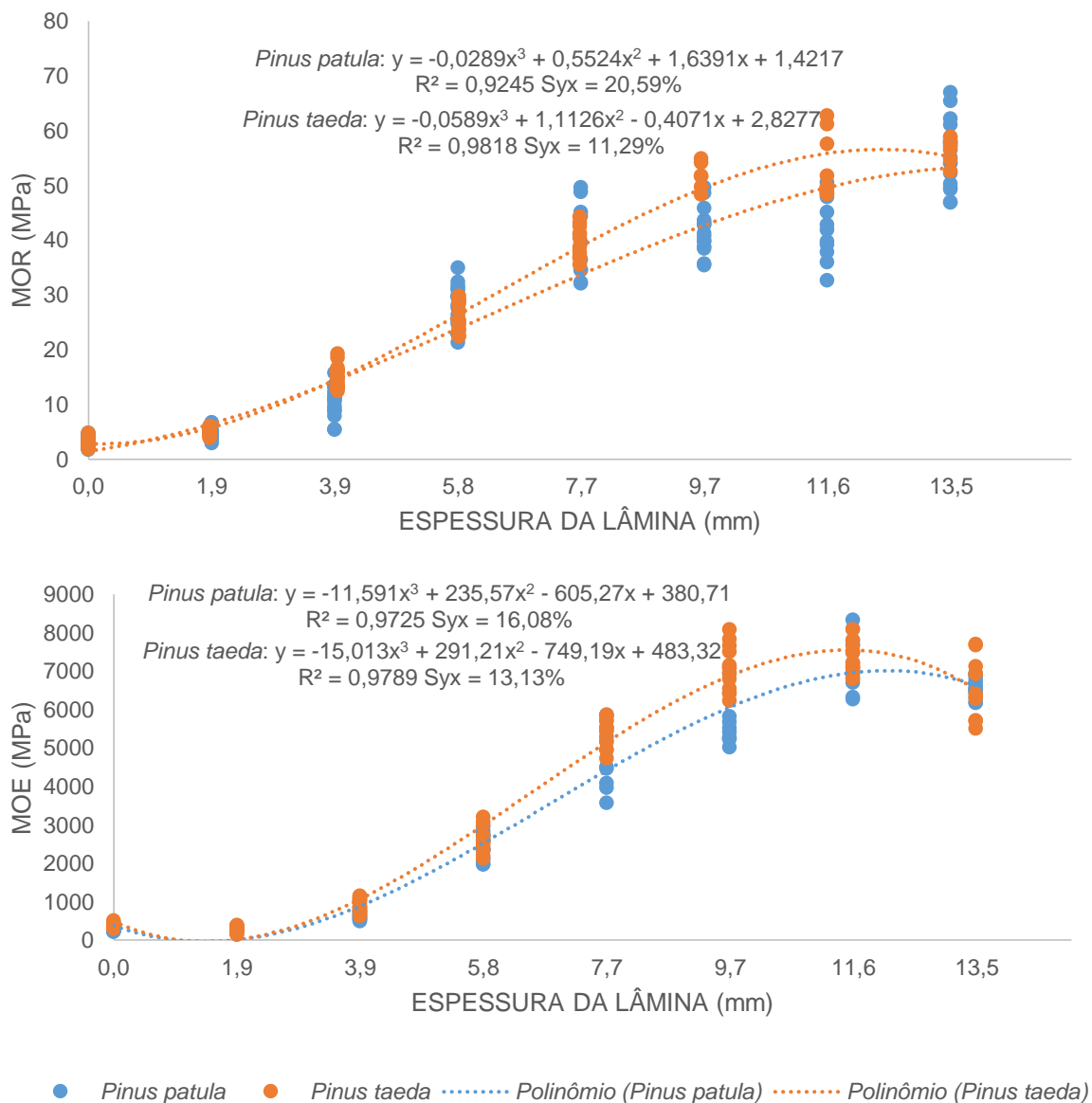


Figura 3. Efeito do MOR e MOE dos painéis multilaminados dos de *Pinus patula* e *Pinus taeda*.

Palma (1994) salienta que os cálculos teóricos para obter os valores das propriedades balanceadas dos painéis compensados devem partir de algumas pressuposições e simplificações, como o fato de se desconsiderar o efeito da linha de cola nas propriedades dos painéis.

Verifica-se que, mesmo utilizando os valores médios das propriedades dos painéis ao invés do uso das propriedades da madeira, desconsiderando o efeito das linhas de cola e desconsiderando o efeito do momento de inércia de cada lâmina, obteve-se com o ajuste de um modelo polinomial de terceiro grau um coeficiente de determinação para o MOR acima de 0,92 com erro padrão da estimativa de 20,6% para *Pinus patula* e para *Pinus taeda* 0,98 e 11,3%, e para o MOE o coeficiente de correlação foi superior a 0,97 para ambas com erro de 16,06% para *Pinus patula* e 13,03% para *Pinus taeda*.

Na Figura 4 é apresentado o gráfico do inchamento longitudinal (IL) em função da espessura de lâmina disposta com a grã da madeira no sentido paralelo à grã da lâmina de cada painel. Nesse caso, verificou-se que houve também relação, mas num modelo quadrático. Nota-se que a disposição de três lâminas em sentido longitudinal (espessura de 5,8 mm) reduziu o Inchamento longitudinal ao máximo, se mantendo aproximadamente constante com o aumento da espessura de lâminas dispostas no sentido longitudinal.

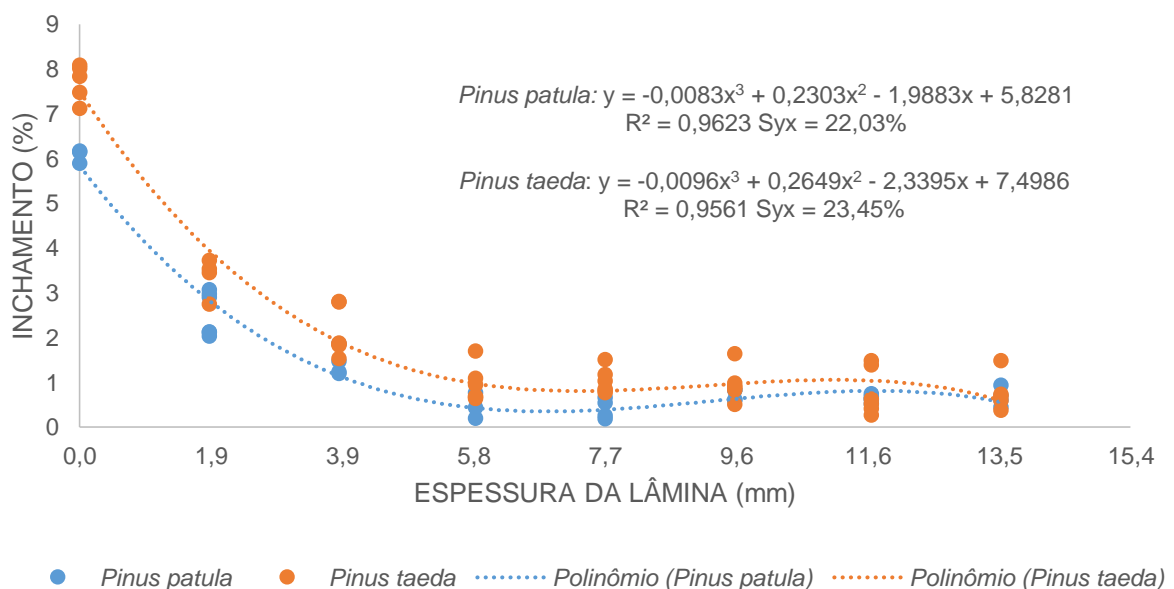


Figura 4. Efeito do inchamento nos painéis compensados de *Pinus patula* e *Pinus taeda*.

Verifica-se que o coeficiente de determinação do modelo explica 96% da variação dos dados para *Pinus patula* com erro de 22,03% e 95% com 23,45% de erro para *Pinus taeda*. Conforme Palma & Ballarin (2003), em seu estudo com árvores de *Pinus taeda* com 37 anos de idade, a contração média da madeira no sentido longitudinal foi de 0,44% e no sentido tangencial de 7,66%. Os valores são semelhantes aos encontrados para o painel LVL pois apresentou valores médios no sentido perpendicular próximos a 7% e no sentido paralelo próximos a 1,5%.

5.5. CONCLUSÕES

Para os painéis produzidos com uréia-formaldeído, os produzidos com *Pinus taeda* apresentaram maiores valores médios nas propriedades de Massa específica aparente, Teor de umidade, Espessura, Absorção d'água e Flexão estática.

Os painéis produzidos com *Pinus patula* e uréia-formaldeído, foram melhores nas propriedades de Inchamento em espessura, Inchamento mais recuperação em espessura e qualidade de colagem dos painéis.

Para os painéis colados com uréia-formaldeído, não houve influência da composição do painel nas propriedades de absorção d'água e qualidade da colagem dos painéis.

Para os painéis produzidos com fenol-formaldeído, os produzidos com *Pinus taeda* foram melhores nas propriedades de Teor de umidade, Absorção d'água, Flexão estática (paralela) e qualidade de colagem dos painéis.

Os painéis produzidos com *Pinus patula* e fenol-formaldeído foram melhores nas propriedades de massa específica aparente.

Para os painéis colados com fenol-formaldeído, não houve influência da composição do painel nas propriedades de Teor de umidade, Absorção d'água, Inchamento em espessura e Inchamento mais recuperação em espessura dos painéis.

O melhor balanceamento das propriedades de MOR e MOE em flexão estática foi obtido com a composição típica de um painel compensado (composição 4), para ambas as espécies e para ambos os adesivos utilizados.

A análise do efeito da construção balanceada confirmou que a espessura da lâmina foi a variável que mais influenciou no balanceamento das propriedades dos painéis e que as propriedades de estabilidade dimensional e de resistência/elasticidade podem ser estimadas em função das espessuras da lâmina com a grã disposta no sentido paralelo dos painéis.

5.6. REFERÊNCIAS

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Programa nacional da qualidade da madeira tropical e pinus**. Curitiba. ABIMCI, 2003.

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. 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

ABIMCI - PROGRAMA NACIONAL DA QUALIDADE DA MADEIRA. Parâmetros para compensados de madeira tropical e pinus PNQM-CT e PNQM-CP. **Catálogo Técnico** Rev.04, 2004. 8p.

ABIMICI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. Compensado de pinus. Programa Nacional de Qualidade da Madeira. **Catálogo Técnico**, Curitiba, 2002. 20p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compensado: determinação da em espessura e inchamento mais recuperação em espessura. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9535).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compensado: determinação da densidade. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9485).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compensado: Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9484).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compensado: determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9486).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Compensado: determinação da resistência à flexão estática. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9533).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Condicionamento de corpos de prova de compensados para ensaio. Rio de Janeiro, 2011. (Norma Brasileira NBR-9489).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira – Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. (Norma Brasileira NBR 11941).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial, Parte 1: Geral. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-1).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira compensada – Classificação pela aparência superficial, Parte 3: Coníferas. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 2426-3).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira compensada – Qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 12466-1).

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Madeira compensada – Qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 2006. (Norma Brasileira NBR ISO 12466-2).

ALBINO, V. C. S; SÁ, V. A; BUFALINO, L; MENDES, M. M; ALMEIDA, N. A. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis compensados de *Toonaciliata M. Roem. var. australis*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 103-108, jan./mar. 2011.

ALBUQUERQUE, C.E.C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, n.45, p.26-28, 1999.

ALMEIDA, D. H.; FERRO, F. S.; VARANDA, L. D.; SOUZA, A. M.; ICIMOTO, F. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Quality control in plywood manufacturing: physical properties of commercial plywood of *Pinus sp.* **International Journal of Composite Materials**, v. 3, p. 163-167, 2013.

ARRUDA, L. M. **Modificação termomecânica da madeira de amescla (*Trattinnickia burseraefolia* (Mart.) Willd.): efeito sobre as propriedades de lâminas e compensados**. 2012, 121p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília-DF

BALDWIN, R.F. **Plywood manufacturing practices**. San Francisco: Miller Freeman, 1981, 362p.

BNDES. Setorial: **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, mar. 2008.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: V.N. Reinhold, 1982. 711 p.

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

CAMPOS CI, MORAIS RDV, NASCIMENTO MF. Caracterização físico-mecânica de painéis de madeira compensada produzidos com *Pinus sp.* e resina poliuretana bi-componente. **Revista Madeira Arquitetura Engenharia**. 2009;v.10, n.24, p.37–50.

CRUZ, C. R.; LIMA, J. T.; MUNIZ, G. I. B. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba (SP),2003. v.64, p.33-37.

FAEP - Federação da Agricultura do Estado do Paraná. **Um primata complicado**. Disponível em <<http://www.sistemafaep.org.br/um-primata-complicado.html>>. Acessado em 05/01/2017.

GAY, P. **L'Atlas du bois**. Paris: Editions de Monza, 2001. 251p.

GILLESPIE, A. J. R. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine; U.S., **Forest Service**, 1992. New Orleans, LA. 5 p.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; MORI, F. A. Painéis compensado de eucalipto: estudo de caso de espécie e procedências. **Cerne**, Lavras-MG, v. 15, n. 1, p. 10-18, jan./mar. 2009.

HSU, W. E. Wood quality requirements for panel products. In: INTERNATIONAL WOOD QUALITY WORKSHOP, 1., Oregon, 1997. **Resumos...** Oregon: CTIA/IUFRO, 1997.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Londrina, PR. **Monitoramento Agroclimático do Paraná.** Cartas Climáticas do Paraná. 2015a.

IAPAR - Instituto Agronômico do Paraná. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento, Londrina, PR. **Monitoramento Agroclimático do Paraná.** Médias Históricas das Estações do IAPAR. 2015b.

IBÁ 2016, **Relatório anual.** Indústria Brasileira de Árvores, Brasília, 100p. 2016.

INTERAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensados.** 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

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

IWAKIRI, S., SANCHES, F. G., POTULSKI, D. C., SILVA, J. B. D., ANDRADE, M. D., & MARCHESAN, R. Avaliação do potencial de uso de espécies de *Pinus* tropicais e Eucalipto na produção de painéis compensados uréicos. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 277 - 284, abr./jun. 2012.

IWAKIRI, S.; ALMEIDA, B. C.; BIASI, C. P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F. P.; FRANZONI, J. A.; RIGATTO, P. A.; BETTEGA, W. P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

IWAKIRI, S.; DEL MENEZZI, C. H. S.; LAROCCA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S. S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 92 - 97, 2002.

IWAKIRI, S.; MANHIÇA, A. A.; RAMIREZ, M. G. L.; MATOS, J. L. M.; BONDUELLE, G. M.; PRATA, J. G. Avaliação da qualidade de painéis compensados de *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpae*, *Pinus tecunumannii* com diferentes composições estruturais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n.2, p. 315-321, 2012.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M.; LIMA, A. J. M.; FERREIRA, E. S.; BATISTA, D. C.; ROMÃO, S. A. A. Produção de Painéis Compensados de *Pinus* Tropicais Colados com Resina Fenol-formaldeído. **Revista Floresta**, v.39, n.3, p. 669-673, Curitiba, PR, 2009.

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.6, n.2, p.19-24, 2000.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D. P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M. A. 2001. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71 - 77, 2001.

JANKOWSKY, I.P. Qualidade das lâminas de *Pinus strobus* (MARTINEZ) var. *chiapensis* obtidas por desenrolamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 50-59, 1978.

KAZMIERCZAK, S. **Qualidade de painéis de madeira compensada fabricados com lâminas de madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus dunnii*, e *Eucalyptus urograndis***. 2012. 95 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) UNICENTRO, Irati, PR.

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica (RJ), v. 07, n. 01, p. 279-291, 2000.

LUTZ, J.F. **Wood veneer: log selection, cutting and drying**. U.S. Department of Agriculture Tech. Bull. No.1577. Washington, DC: Superintendent of Documents, U.S.Government. 137p.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding: principle in practice**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MATOS, J. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 115p. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, 1997.

MEDINA, J. C. **Efeito da temperatura de aquecimento na obtenção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliotth engelm.*** 1986. 128 P. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 10/01/2017.

OLIVEIRA, J.T.S. Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira de pindaíba (*Xilopia sericea* St. Hil.) IV. Densidade, umidade e secagem da madeira. **Revista Árvore**, v.14, n.2, p.139-154, 1990.

OLIVEIRA, J.T.S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da Pindaíba (*Xylopiya sericea* St. Hill.)**. 1988. 106p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, n.64, p.13-22, 2003.

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para laminação e produção de painéis compensado**. 2011, 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba -PR.

PRATA, J. G. Resinas para Painéis de Madeira. **Notas de aula**. Disciplina AT-106 Painéis de Madeira I. 2014. Disponível em <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasprata/RESINAS.pdf>>. Acesso em 05/01/2017

ROYAL PLÁS. **Resinas fenólicas**. Disponível em <<http://www.royalplas.com.br/>>. Acesso em 10/01/2017.

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.

SUCHSLAND, O. **Warping of furniture panels**. Agric. Exp. Station, Michigan, 1972. (Extension Bulletin E-745).

SUCHSLAND, O.; JANKOWSKY, I.P. A produção de lâminas de madeira por desenrolamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 33, p. 1-8, 1978.

THOEMEN, H., IRLE, M., SERNEK, M. **Wood-based panels an introduction for specialists**. Brunel University Press. Londres, 2010.

TOMASELLI, I.; SCHEFFER, L.F. A reação do compensado. **Revista da madeira**, n.45, p. 10-14, 1999.

UMAÑA, C.L.A.; BRITO, E.O. Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas, **Revista da Madeira**, ano 13, n. 78, 2004.

VALE, A. T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. O. Estudo da densidade básica de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, v.16, n.2, p.209-217, 1992.

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

ZUGMAN, I.C. Estrutura das indústrias e comércio de madeira compensada e lâmina da no Brasil e no mundo. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS DE SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA. Belo Horizonte, 1998. **Anais...** Belo Horizonte: SIF; UFV; DEF. 1998. p. 49-54.