

**MORGANA CRISTINA FRANÇA**

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE FIBRAS  
*OVERSIZE* DE UMA INDÚSTRIA DE MDF**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr. Alessandro B. da Cunha

Coorientadora: Dra. Polliana D. Rios

Coorientadora: Dra. Rosilani Trianoski

**LAGES, SC  
2015**

F814p      França, Morgana Cristina  
Produção de painéis aglomerados de fibras  
Oversizede uma indústria de MDF/ Morgana Cristina  
França. - Lages, 2015.  
170p. :il. ; 21 cm

Orientador: DR. Alessandro B. da Cunha

Coorientadora: Dra. Polliana D. Rios

Coorientadora: Dra. Rosilani Trianoski

Bibliografia: p. 137-158

Dissertação (mestrado) - Universidade do  
Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Resíduo de processo. 2. Adesivo composição.  
I. França, Morgana Cristina. II. Cunha, Alessandro  
B. da. III. Universidade do Estado de Santa  
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Florestal. IV. Título

CDD: 620.12- 20.ed.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do  
CAV/ UDESC

**MORGANA CRISTINA FRANÇA**

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE FIBRAS  
OVERSIZE DE UMA INDÚSTRIA DE MDF**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

**Banca Examinadora:**

Orientador:

---

Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

---

Prof. Dr. Setsuo Iwakiri  
Universidade Federal do Paraná

Membro:

---

Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque  
Universidade Federal do Paraná

**Lages, 06/02/2015**



*A minha família, dedico.*



## AGRADECIMENTOS

Ao CAV – UDESC pela realização do mestrado.

À Deus, por ter me guiado pelo melhor caminho para conseguir chegar aonde estou.

Agradeço aos meus pais, Hélio José França e Marciane Luckmann França, por terem me apoiado em mais essa etapa de minha vida, foram muitos momentos de alegria e superação, e que eles sempre estiveram ao meu lado.

Ao meu namorado Leonardo Candil Boschette, pela eterna compreensão, paciência e apoio durante todo esse período.

Ao meu professor orientador Alessandro Bayestorff da Cunha, por me orientar de forma tão grandiosa, por conseguir sanar minhas dúvidas, acreditar na minha capacidade, e além de tudo por ser um exemplo de pessoa e profissional, a qual irei sempre admirar.

Às professoras coorientadoras Polliana D´angelo Rios (UDESC) e Rosilani Trianoski (UFPR), pela disponibilidade e assistência.

Aos membros da banca prof. Dr. Setsuo Iwakiri e prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque, e a prof<sup>a</sup>. suplente Dra Martha Andreia Brand, que aceitaram o convite e dispuseram de seu tempo para enriquecer o estudo.

Ao professor Dr. Marcos Benedito Shimalski pela assistência na realização da análise estatística.

Aos meus colegas de mestrado Bruna Laís Longo e Caio Cesar Faedo Almeida e acadêmicas Taize Caroline Dreyer e Aline Almada, pela ajuda na produção dos painéis e na troca de conhecimento durante todo esse período. Além dos outros colegas de mestrado Daniela Letícia Nones, Luciane Gorski, Larissa Pasa Martarello, Camilla Gabriela Melo Ampressan, Willian Grubert, Giuliano Ferreira Pereira, Karine Souza,





Jéssica Oneda, Luciane Lazzarin, Myrcia Minatti e Dalciana Vicente, pelas conversas e trocas de experiência.

As minhas amigas Daniela Letícia Nones, Karine Souza, Valéria Bitencourt e Pollyni Ricken, as quais compartilhei as minhas dificuldades, angustias, superações e alegrias durante o mestrado.

As empresas Bonet Madeiras e Papéis Ltda, Indústria de Compensados Sudati Ltda, Isogama Indústria Química Ltda, SENAI – Unidade Lages em especial ao Sr. Darci, aos profissionais dos Serviços Gerais do CAV – UDESC, em especial ao Alessandro e ao Sr. Ademir.



## RESUMO

FRANÇA, M. C. **PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE FIBRAS *OVERSIZE* DE UMA INDÚSTRIA DE MDF**. 2015. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, SC. 2015.

A motivação para o desenvolvimento do presente estudo foi a utilização de fibras *oversize* de uma empresa de MDF que já possuíam incorporadas em sua estrutura resina e parafina, para a fabricação de um novo produto. Em consequência a isso se reduziria a emissão de gases (formaldeído), pelo fato da matéria prima, quando descartada, ser utilizada na geração de energia (queima). Desta forma, o objetivo do presente estudo, foi avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis aglomerados a partir de fibras *oversize* retiradas do processo de produção de MDF por meio das propriedades tecnológicas dos painéis. A matéria-prima utilizada foi composta por partículas *flake*, de uma empresa de MDP, e fibras resinadas retiradas antes da formação do colchão dos painéis MDF, ambas formadas pelo mix de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*. O delineamento experimental envolveu 14 tratamentos, sendo: 10 tratamentos com painéis homogêneos nas proporções 100 partes de partículas para 0 partes de fibras, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100, e 4 tratamentos multicamadas com partículas no miolo, fibras na superfície e na composição inversa. Salienta-se que cada composição foi avaliada em dois teores de resina, 8% e 12%. Os ensaios foram desenvolvidos de acordo com a ASTM



D1037 (1993), DIN 52362 (1982) e NBR 14810 (2006). Os resultados foram avaliados por meio de análise fatorial e comparação múltipla com Scott-Knott a 95% de probabilidade. Além disso, os dados foram comparados com normas de referência. Como resultados, foi verificada a influência positiva da utilização de fibras *oversize* resinadas e da aplicação de 12% de resina nas propriedades tecnológicas. Desta forma, os melhores tratamentos do estudo foram compostos por painéis homogêneos com quantidade de fibras *oversize* acima de 50% e painéis multicamadas com fibras nas camadas superficiais.

**Palavras-chave:** Resíduo de processo, adesivo composição.



## ABSTRACT

**FRANÇA, M. C. PARTICLEBOARD MANUFACTURING FROM *OVERSIZE* FIBERS OF A MDF INDUSTRY.** 2015. 170 f. Dissertation (Master in Forest Engineering) - Santa Catarina State University Forest Engineering Graduate Program, Lages. 2015.

The motivation for the development of this study was the use of an oversize fibers MDF company that had already incorporated resin and paraffin in its structure, for the manufacture of a new product. As a result it would reduce the emission of gases (formaldehyde), because when the raw material is discarded, it can be used. Thus, the objective of this study was to evaluate the technical feasibility of the production of particleboard from oversize fibers taken from the MDF production process through the technological properties of the panels. The raw material which was used, was composed of flake particles, a MDP company, and resin-coated fibers removed before the formation of the mattress of MDF panels, both formed by the mix of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii*. The experiment involved 14 treatments: 10 treatments with homogeneous panels in the proportions 100 parts of particles to 0 shares fibers, 75:25, 50:50, 25:75, 0: 100, and 4 multi treatments particles in the core, at the fiber surface and the reverse composition. It is noted that each composition was evaluated at two levels of resin, 8% and 12%. Assays were developed in accordance with ASTM D1037 (1993), DIN 52 362 (1982) e NBR 14810 (2006). The results were evaluated by using factor analysis and multiple comparisons with Scott-Knott to 95% probability. In addition, the data were compared with reference standards. As a result, it showed a positive





influence of the use of resin-coated oversize fibers and the application of 12% resin in technological properties. Thus, the best study treatments were homogenous panels amount of oversize fibers above 50% and multilayer boards with fibers in the surface layers.

**Key-words:** Process residue, adhesive and composition.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Produtos compostos de madeira.....	47
Figura 2-	Classificação dos painéis compostos de madeira.....	48
Figura 3-	Mapa das empresas de painéis no Brasil.....	51
Figura 4-	Consumo per capita (m <sup>3</sup> /1000 habitantes) de MDP nos anos de 2006 (A) e de 2012 (B).....	53
Figura 5-	Consumo per capita (m <sup>3</sup> /1000 habitantes) de MDF nos anos de 2006 (A) e de 2012 (B).....	54
Figura 6-	Fluxograma do processo de fabricação dos painéis MDP.....	59
Figura 7-	Máquina transformadora de toras em partículas (cepilhador).....	85
Figura 8-	Secagem e classificação das fibras.....	86
Figura 9-	A) Tambor rotatório utilizado na mistura das partículas/fibras; B) Pistola utilizada para aspersão de resina/parafina e copo acoplado na mesma onde são depositados o material colante e impermeabilizante.....	92
Figura 10-	Formação do colchão.....	93



Figura 11-	Prensagem dos painéis. A) Prensa hidráulica utilizada na prensagem a frio; B) Colchão com a colocação da chapa de aluzinco e das barras de controle de espessura.....	94
Figura 12-	Prensa a quente. A) Prensa e painel de operação; B) Detalhe do colchão na prensa.....	94
Figura 13-	Confecção dos corpos de prova. A) Layout; B) Corpos de prova.....	95
Figura 14-	Realização dos ensaios físicos Absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura. A) Corpos de prova saturando em água. B) Medição dos corpos de prova. C) Pesagem dos corpos de prova.....	98
Figura 15-	Ensaio das propriedades mecânicas. A) Flexão estática. B) Ligação interna. C) Arrancamento de parafuso superficial.....	103
Figura 16-	Ensaio de tração perpendicular. A) Painel multicamada – rompimento na camada com partículas. B) Painel homogêneo – rompimento no meio do corpo de prova.....	133



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Delineamento experimental. ....	87
Tabela 2- Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios físicos nos painéis. ....	105
Tabela 3- Valores médios de massa específica dos painéis. .	106
Tabela 4- Valores médios de espessura dos painéis.....	110
Tabela 5- Valores médios de teor de umidade dos painéis. ..	113
Tabela 6- Valores médios da absorção de água a 2 horas e a 24 horas dos painéis.....	117
Tabela 7- Valores médios do inchamento em espessura a 2 horas e a 24 horas dos painéis.....	120
Tabela 8- Valores médios da taxa de não retorno em espessura dos painéis. ....	124
Tabela 9- Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios mecânicos nos painéis.....	126





Tabela 10-	Valores médios da flexão estática, para o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura. ....	127
Tabela 11-	Valores médios da tração perpendicular dos painéis.....	133
Tabela 12-	Valores médios de arranchamento de parafuso de superfície e de topo.....	136



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
1.2	OBJETIVOS.....	36
1.2.1	Objetivo Geral .....	36
1.2.2	Objetivos Específicos.....	36
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>39</b>
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES DO PINUS SPP .....	39
2.1.1	<b>Pinus taeda .....</b>	<b>40</b>
2.1.2	<b>Pinus elliottii.....</b>	<b>43</b>
2.2	PAINÉIS DE MADEIRA .....	46
2.2.1	Conceito e classificação .....	46
2.2.2	Histórico .....	48
2.2.3	Mercado.....	51
2.3	PAINÉIS MDP .....	54
2.3.1	Matéria – prima.....	55
2.3.2	Processo produtivo .....	58
2.4	PAINÉIS MDF .....	59
2.4.1	Matéria-prima.....	60
2.4.2	Processo produtivo .....	62
2.5	RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS MDP E MDF.....	64
2.6	FATORES QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS .....	66
2.6.1	Fatores inerentes a madeira .....	66
2.6.1.2	Massa específica.....	67
2.6.1.3	Teor de umidade da matéria prima .....	69
2.6.1.4	Propriedades Químicas .....	70
2.6.2	Inerentes ao processo .....	72
2.6.2.1	Massa específica dos painéis .....	72



2.6.2.2	Razão de compactação .....	73
2.6.2.3	Teor de umidade das partículas .....	74
2.6.2.4	Adesivo.....	76
2.6.2.5	Parafina .....	77
2.6.2.6	Geometria das partículas .....	78
2.6.2.7	Ciclo de Prensagem .....	80
2.7	ESTUDOS COM RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS ...	83
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	85
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA .....	85
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	87
3.3	PRODUÇÃO DOS PAINÉIS .....	88
3.3.1	Cálculo dos componentes dos painéis .....	88
3.3.2	Aplicação de resina e parafina no material.....	92
3.3.3	Formação do colchão e prensagem dos painéis .....	93
3.4	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA .....	95
3.5	ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	96
3.5.1	Ensaio físico.....	96
3.5.1.1	Massa específica.....	96
3.5.1.2	Teor de umidade .....	97
3.5.1.3	Absorção de água, inchamento em espessura e TNRE.....	97
3.5.2	Ensaio mecânico .....	100
3.5.2.1	Flexão Estática .....	100
3.5.2.2	Tração perpendicular.....	101
3.5.2.3	Arrancamento de parafuso .....	102
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	103
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	105
4.1	PROPRIEDADES FÍSICAS.....	105
4.1.1	Massa específica.....	106
4.1.2	Espessura.....	110
4.1.3	Teor de umidade .....	112
4.1.4	Absorção de água.....	116
4.1.5	Inchamento em espessura .....	120



<b>4.1.6</b>	<b>Taxa de não retorno em espessura (TNRE) .....</b>	<b>123</b>
<b>4.2</b>	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS .....</b>	<b>126</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Flexão Estática .....</b>	<b>127</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Tração perpendicular.....</b>	<b>132</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Arrancamento de Parafuso.....</b>	<b>136</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>141</b>
<b>5.1</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>141</b>
<b>5.2</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>142</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>143</b>





## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva do setor brasileiro de florestas plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos, compreendendo um conjunto de atividades que incluem a produção, a colheita e a transformação da madeira até a obtenção dos produtos finais.

Atualmente o consumo de madeira de florestas plantadas é distribuído em setores como: celulose, painéis de madeira industrializada, serrados, compensados, carvão vegetal, lenha e outros, sendo que os três últimos são responsáveis pelo maior consumo de madeira na forma de toras com 38,7% do total (ABRAF, 2013).

Entretanto, segundo dados da FAO (2013), um dos setores que vem crescendo fortemente nos últimos anos é o de painéis de madeira industrializada com crescimento de 8,9% ao ano. Esse fato também é comprovado pelo aumento da produção de 3,5 milhões de metros cúbicos em 2003 para 7,8 milhões em 2013, da mesma forma que o consumo aparente de 3,2 milhões de metros cúbicos para 7,5 milhões. Desta forma, o Brasil foi considerado o sétimo produtor mundial de painéis em 2012 (FAO, 2013).

Dentre os painéis que tiveram sua produção mais acentuada, pode-se destacar os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*). Segundo Biazus *et al.* (2010), o MDP é o painel de madeira reconstituída mais produzido e consumido no mundo. No Brasil, apresenta uma produção anual de aproximadamente 3 milhões de metros cúbicos (ABIPA, 2014), estando entre os 10 maiores produtores em escala mundial, com aproximadamente 2% da produção mundial. Segundo Mattos *et al.* (2008) os Estados Unidos lidera a produção com 21%, seguido pelo Canadá e Alemanha com 12 e 11% respectivamente. O mesmo autor acrescenta ainda, que mais de

95% de toda a produção brasileira é utilizada apenas para o abastecimento do mercado interno. Silva (2012) complementa que a importância mercadológica do MDP se concentra no abastecimento de indústrias produtoras de móveis para o uso residencial e comercial, onde este produto se mostra como a principal matéria prima.

Os painéis de partículas de média densidade, conhecidos popularmente como aglomerados, caracterizam-se como painéis produzidos a partir de partículas de madeira distribuídas aleatoriamente, com a incorporação de um adesivo e aplicação de pressão e temperatura a fim de se obter um produto específico (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

Tratando-se da matéria prima utilizada na fabricação dos painéis, Dacosta *et al.* (2005a) salientam que todo e qualquer material lignocelulósico pode ser utilizado como matéria-prima para a fabricação de chapas de partículas. Entretanto, só as madeiras de folhosas e de coníferas se apresentam como fonte permanente e ininterrupta de elementos lignocelulósicos para a produção desses produtos. No Brasil, a madeira de *Pinus* é a principal matéria-prima utilizada na produção de painéis aglomerados (IWAKIRI *et al.*, 2005b).

Além da madeira oriunda de desbastes, os painéis podem ser fabricados com a utilização de alguns resíduos e sobras de madeira de processos industriais como: peças processadas e acabadas, apresentando boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram usadas nos produtos finais (TEIXEIRA, 2005); rolo-resto proveniente do processo de laminação; retalhos resultantes do processo de esquadreamento dos painéis de madeira e o rejeito (peças que ao sofrer o processamento, ficaram abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por apresentarem defeitos de qualidade) (TEIXEIRA, 2005), onde se enquadra as fibras *oversize*.

As fibras *oversize*, são fibras superdimensionadas retiradas do processo de produção de painéis MDF (*Medium*

*Density Fiberboard*) que já receberam resina uréia formaldeído e emulsão de parafina, porém no momento da classificação, acabam não se adequando a granulometria padrão utilizada pela empresa. Desta forma, após a classificação, são descartadas e encaminhadas para queima na caldeira. Cabe salientar que são fibras que já receberam resina uréia formaldeído, portanto, a queima deste material pode ocasionar a emissão de gases tóxicos, como o formaldeído para a atmosfera.

De acordo com Cempre (2000), a indústria moderna percebe que é responsabilidade de todos agirem de modo a minimizar e prevenir impactos ambientais negativos sobre o meio ambiente, incluindo este conceito no planejamento estratégico das empresas. Em diversos setores industriais a introdução de prática de prevenção à poluição e a busca de tecnologias mais limpas têm demonstrado que a filosofia de prevenção à poluição não é somente uma ferramenta efetiva para um gerenciamento ambiental mais eficiente, como também traz uma série de benefícios econômicos.

Desta forma, a utilização de sobras e resíduos de madeira na fabricação de painéis de madeira reconstituída serve para aumentar a sustentabilidade na utilização das florestas, especialmente das plantadas, como insumo na produção madeirável. Sabe-se que a indústria de painéis de madeira aglomerada utiliza grandes quantidades de toras e, em menor extensão, resíduos produzidos por outras indústrias madeireiras. É importante, então, otimizar a utilização desses resíduos madeiráveis como fonte de matéria-prima para a indústria de painéis de madeira aglomerada, conseguindo assim a sustentabilidade dos benefícios sociais, econômicos, ambientais e empresariais (FAGUNDES, 2003).

A motivação do desenvolvimento do presente estudo baseou-se na necessidade de fornecer informações sobre a utilização de resíduos do processo produtivo de painéis MDF para a manufatura de outro tipo de painel, o MDP ou

aglomerado, em função de ser um material que já tem incorporado em suas fibras resina ureia formaldeído. Neste contexto, a pesquisa foi fundamentada nas hipóteses que há viabilidade tecnológica na produção de painéis aglomerados a partir do resíduo supracitado, que a incorporação de 8% de resina nos painéis confeccionados com até 50% de fibras será o suficiente para atender os padrões das normas de qualidade e que os painéis multicamadas formados por partículas na camada interna e fibras na camada externa apresentarão desempenho superior aos painéis homogêneos e multicamadas com fibras na camada interna e partículas na externa.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis aglomerados a partir de fibras *oversize* retiradas do processo de produção de painéis MDF por meio das propriedades tecnológicas dos painéis, com intuito de direcionar o resíduo para um produto de maior valor agregado e eliminar um possível dano ambiental que poderia ser causado pela utilização deste material na queima em caldeiras.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a serem alcançados no estudo visam determinar:

- as propriedades físicas e mecânicas dos painéis homogêneos e multicamadas, produzidos com partículas cepilhadas e fibras *oversize* descartadas do processo de MDF;
- as melhores composições de partículas e fibras nos painéis produzidos em todos os tratamentos;

- a quantidade de resina mínima necessária, 8% ou 12%, para a produção dos painéis aglomerados;
- o atendimento dos painéis aos padrões das normas de qualidade.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ESPÉCIES DO

#### *Pinus spp*

Na era paleozóica originaram-se as coníferas, incluindo-se a família *Pinaceae* e o gênero *Pinus* que colonizou, naturalmente, grande parte do Hemisfério Norte, incluindo os continentes da América do Norte, Europa e Ásia, chegando algumas das 105 espécies a atravessar o equador (RICHARDSON e RUNDEL, 1998). Segundo estes mesmos autores, a família *Pinaceae* é a maior e mais importante da ordem *Coniferae*, abrangendo nove gêneros e duzentas e dez espécies. O gênero *Pinus* (originário da América do Norte) é o que mais se destaca nessa ordem, abrangendo muitas espécies amplamente distribuídas pelo hemisfério Norte até os países tropicais e subtropicais nas Índias Ocidentais, Arquipélago das Filipinas, Antilhas, Ilhas Bahamas, México, Guatemala, Honduras, Nicarágua, com maior ocorrência nos climas temperados, mas sem ultrapassar o Equador. O gênero *Pinus* compõe-se de grande número de espécies, as quais apresentam dispersão natural em um número igualmente variado de habitats.

Segundo a CI Florestas (2014), as espécies mais plantadas no Brasil são: *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, sendo que estas duas últimas espécies são as mais plantadas na região sul em função da tolerância a geadas.

Atualmente os estados brasileiros com maior produção de *Pinus* são Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Tocantins Goiás, Bahia e Espírito Santo. Porém a maior concentração de plantios florestais nas Regiões Sul e Sudeste do país (72,3%) se

justifica em função da localização das principais unidades industriais dos segmentos de Celulose e Papel, Painéis de Madeira Industrializada, Siderurgia a Carvão Vegetal e Madeira Mecanicamente Processada (ABRAF, 2013).

### 2.1.1 *Pinus taeda*

Segundo Barrichelo *et al.* (1977), o *Pinus taeda* é uma das principais espécies ocorrendo naturalmente em toda a região sudeste dos Estados Unidos da América (EUA). Koch (1972) *apud* Barrichelo *et al.* (1977) ressalta que a espécie se destaca devido à grande distribuição geográfica. Em sua região de origem se desenvolve desde o nível do mar até altitudes acima de 600 metros, entre as latitudes de 29° N até 38° N e as longitudes de 75° W e 95° W.

Para o *Pinus taeda*, o clima da maioria das formações naturais, presente nos EUA, é úmido com temperaturas variando de quentes a amenas, verões longos e quentes e invernos intermediários. A precipitação média anual varia de 1.020 a 1.520 mm. O período livre de geadas varia de cinco meses, na região norte, a dez meses, na região costeira, no sudeste. A temperatura média anual varia de 13° a 24° C e a temperatura média do mês mais quente (julho) é de 27° C. A temperatura média do mês mais frio (janeiro) é de 4° a 16° C, podendo cair a -23° C no norte e a oeste de sua área de ocorrência. Ocasionalmente ocorrem muitos dias de chuva com mais de 13 mm ao dia e temperaturas altas no inverno. O principal fator que limita a ocorrência da espécie ao norte é, provavelmente, as baixas temperaturas no inverno, associados a danos causados pela neve, gelo e ainda pelo frio durante o período de florescimento da espécie. A falta de uma quantidade adequada de chuva no período de crescimento é uma das causas que limita a ocorrência natural da espécie na região oeste, nos estados de Oklahoma e Texas (BAKER e LANGDON, 1990).



No ambiente natural as árvores de *Pinus taeda* com idade elevada, podem atingir até cerca de 45 m de altura e diâmetros de até 150 cm (USDA, 1985)

No Brasil, os primeiros plantios comerciais em largas escalas com *Pinus taeda* iniciaram-se por volta da década de 60. Inicialmente pouco tecnificada, a cultura do *Pinus* ganhou grande impulso nas décadas de 70 e 80, devido aos incentivos fiscais (BAKER e LANGDON, 1990). Na Região Sul a opção foi para o gênero *Pinus*, especialmente *Pinus eliiottii* var. *eliiottii* e *Pinus taeda*. O objetivo inicial era criar uma base florestal para dar suporte ao programa de desenvolvimento do setor de papel e celulose (MUÑIZ, 1993).

Apesar dos plantios terem sido implantados e conduzidos para produção de polpa e papel, já a partir da década de 70 a indústria de transformação mecânica do Sul iniciava um processo de utilização do *Pinus* para produção de madeira serrada e lâminas. O processo de utilização do *Pinus* nesta indústria cresceu à medida que as reservas naturais da região se esgotaram, ou eram incluídas como áreas de preservação permanente (MUÑIZ, 1993).

A floresta de *Pinus* é diferenciada pelo seu “multi-uso” porque, após o corte, sua madeira pode ser destinada à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; para a indústria de papel e celulose; para a indústria de MDF e, mesmo o seu resíduo, tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (CARGNIN, 2005).

Devido às condições climáticas, à sua ampla capacidade de adaptação, à sua diversidade de uso e ao seu rápido crescimento o *Pinus taeda* tem sido uma das espécies preferidas para plantios em reflorestamentos comerciais, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, pelas seguintes características: a) madeira de cor clara, variando de branca a amarelada; b) madeira de fibra longa, apropriada para

fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de impressão e outros tipos de papéis; e c) rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregar valor à terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à recomposição espontânea da vegetação nativa em locais degradados (SHIMIZU e MEDRADO, 2006).

Os plantios de *Pinus* no Brasil apresentam crescimento volumétrico entre 20 e 30 m<sup>3</sup>/ha/ano e sua rotação é de cerca de 20 anos, sendo que os desbastes são realizados nos plantios aos 8 e 14 anos de idade (BASSA, 2006).

Chies (2005) em estudo da qualidade da madeira desta espécie com 21 anos em diferentes espaçamentos, localizados na região de Três Barras - SC, obteve altura média total entre 26,08 m a 27,80 m, diâmetro médio na altura do peito 26,48 cm a 31,12 cm e incremento médio anual entre 1,32 cm/ano a 1,56 cm/ano.

Xavier, Matos e Trianoski (2008) avaliando a variabilidade da massa específica básica a partir de diferentes idades (8, 9, 10, 11, 16 e 17 anos), obtiveram altura total média entre 12,69 m e 21,67 m, altura comercial entre 8,55 m a 18,11 m e diâmetro médio no intervalo de 18,90 cm a 34,00 cm.

Já levando em consideração das características tecnológicas desta espécie, pode-se ressaltar que ela possui traqueoides longos, o que favorece e destaca a espécie como fonte de matéria prima para produção de papel *Kraft* e celulose branqueada (rendimento aproximado de 48% no processo sulfato). Estudos realizados por Shimoyama (2005) mencionaram comprimento médio de traqueoides de 3,80 mm, diâmetro de 32,30 µm, espessura de parede de 7,50 µm.

Trabalhos realizados com a madeira de *Pinus taeda* introduzida no país mostraram, de uma maneira geral, baixos valores para massa específica (HIGA *et al.*, 1973; BARRICHELO *et al.*, 1975 e FOELKEL, (1973). Tal fato

parece ser reflexo da predominância de madeira juvenil, na idade em que o material foi ensaiado, e da alta proporção de lenho inicial (madeira primavera). Klock (2000) descreve que ela pode variar de 0,364 g/cm<sup>3</sup> a 0,467 g/cm<sup>3</sup>.

Levando em consideração a estabilidade dimensional, ressalta-se que a espécie apresenta contração moderada, onde a tangencial é de aproximadamente 5,90% a 6,20%, e a radial varia de 3,50% a 4,40%, porém, apresenta-se de boa estabilidade quando o processo de secagem é bem conduzido (USDA, 1985).

Tratando-se da composição química, destaca-se os extrativos totais com 3,03%, teor de lignina de 28,76%, teor de holocelulose de 68,00% e materiais inorgânicos de 0,17% (KLOCK, 2000).

Melchiorretto e Eleotério (2003) estudando as propriedades mecânicas de *Pinus taeda* obtiveram para plantios de 25 anos módulo de ruptura de 49,0 MPa e módulo de elasticidade de 6.330 MPa em ensaio de flexão estática, já para compressão a os mesmos autores apresentaram valores de 26,74 MPa e ainda para cisalhamento os autores encontraram 11,90 MPa.

Esta espécie apresenta propriedades de colagem intermediárias, onde técnicas têm sido desenvolvidas para se atingir uma colagem aceitável. A impregnação de substâncias preservantes é fácil e tratamentos efetuados sobre pressão proporcionam o aumento da durabilidade da madeira em até 10 vezes (USDA, 1985).

### **2.1.2 *Pinus elliottii***

De acordo com Gilman e Watson (1994), a espécie *Pinus elliottii* Engelm. pertence à Família Pinaceae, Ordem Coniferales, Classe Gimnospermae, sendo conhecida vulgarmente por *Slash pine* (EUA), pinheiro da Flórida e pinheiro americano no Brasil.

Pait *et al.* (1991), descreveram que o *Pinus elliottii* tem como região de ocorrência natural, o Estado da Carolina do Sul até o oeste do Estado da Lousiana, em uma estreita faixa próxima ao Oceano Atlântico no sudoeste dos Estados Unidos. Em sua região de ocorrência natural ocupa uma área de 5,1 milhões de hectares, respondendo por cerca de 12% do estoque de madeira existente. Enquanto que a variedade densa, de menor importância para as plantações comerciais, tem sua área natural de ocorrência limitada ao extremo sul da Flórida. A temperatura média anual na região de origem oscila entre 15 e 24° C e os índices de precipitação variam de 650 a 2500 mm, com um período seco de no máximo 4 meses. É considerado bastante resistente às geadas e amplamente tolerante a ventos com elevados teores de sal.

O *Pinus elliottii* se destacou como espécie viável em plantações comerciais para a produção de madeira e resina no Brasil. A região ecológica para o seu desenvolvimento coincide, em grande parte, com o *Pinus taeda*. Porém, por ser de ambiente com características mais próximas ao tropical, perde em crescimento para o *Pinus taeda* nas partes mais frias do planalto sulino. Por outro lado, pode ser plantado com grande sucesso em ambientes característicos de Cerrado das Regiões Sul e Sudeste, bem como na planície costeira. A árvore pode atingir até 30m de altura e sua copa diminui de tamanho com o crescimento. Seu crescimento nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul é vigoroso e uniforme (IPEF, 1978).

Segundo Lamprecht (1990), o *Pinus elliottii* como espécie heliófila de crescimento rápido, goza de alta competitividade em relação as gramíneas e arbustos lenhosos, atingindo alturas de 20 a 30 metros, (máximo 40 metros), e um DAP de 60 a 90 cm. O sistema radicular pode penetrar no solo até uma profundidade maior que 5 metros.

De uma forma geral, o incremento volumétrico de *Pinus elliottii* costuma ser menor que de *Pinus taeda*. Porém, o

*Pinus elliottii* inicia a produção de madeira adulta a partir dos cinco a seis anos de idade, em contraste com 12 a 15 anos em *Pinus taeda*. Este pode ser um diferencial muito importante na escolha das espécies para a produção de madeira destinada ao processamento mecânico. Isto significa que, em toras da mesma idade, a de *Pinus elliottii* contém menor proporção de madeira juvenil e, portanto, será de melhor qualidade física e mecânica do que a tora de *Pinus taeda* (SHIMIZU, 1980).

Para Lamprecht (1990), o *Pinus elliottii* tem preferência natural por solos ácidos e arenosos localizados sobretudo em baixadas e junto a cursos de água, bem como, áreas com lençol freático próximo a superfície.

O principal uso de *Pinus elliottii* no Brasil é a produção de madeira para processamento mecânico e a extração de resina. A produção de oleoresina (uma complexa mistura de mono, sesqui, e diterpenos) por espécies de coníferas é uma resposta de defesa contra ataque por insetos e microorganismos patogênicos. A extração de oleoresina de *Pinus elliottii* é também uma importante atividade econômica, pois seus derivativos voláteis, terebintina e breu, encontram diversas aplicações na indústria química e farmacêutica (BALLONI 2009). O mesmo autor ressalta que a resina extraída de árvores de *Pinus elliottii* possibilitou a criação de uma atividade econômica muito importante no setor florestal que é a produção, processamento e exportação de resina. Até 1989 o Brasil era importador da resina de pinus, hoje a situação é outra. O setor faturou US\$ 30 milhões no ano de 2005, entre mercado interno e exportação.

Balloni (2009) estudando as propriedades físicas e químicas do *Pinus elliottii*, de 22 anos em plantios localizados em Itapeva/SP obteve valores de massa específica básica média de 0,470 g/cm<sup>3</sup>, coeficiente de anisotropia de 1,33 e inchamento volumétrico de 10,89%. O teor de extrativos totais da madeira foi de 2,98% e o teor de cinzas obtido foi de 0,41%. O teor de lignina solúvel e insolúvel da espécie analisada foi de

0,22% e 28,00% respectivamente. O poder calorífico foi de 4.323 Kcal/K.

## 2.2 PAINÉIS DE MADEIRA

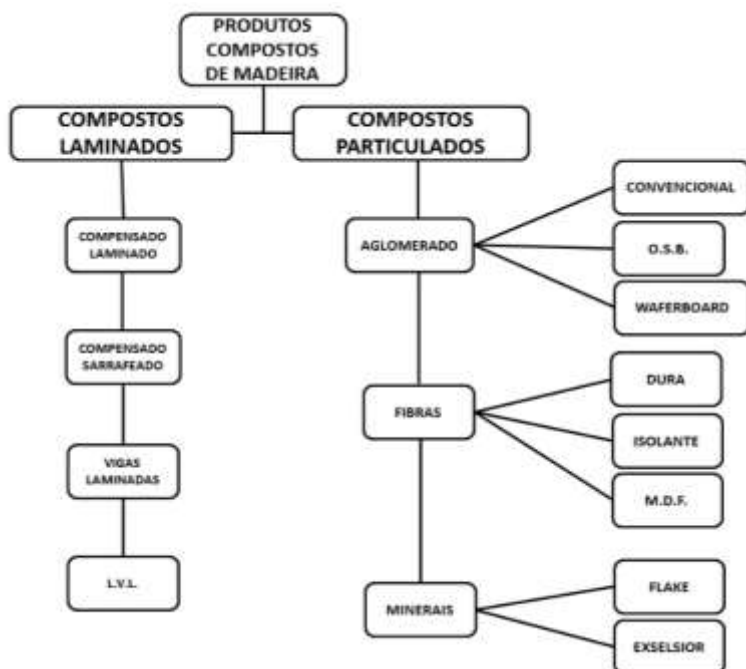
### 2.2.1 Conceito e classificação

Os painéis de madeira são produtos fabricados com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação que, aglutinadas pela ação de pressão, temperatura e da utilização de resinas, são novamente agregadas visando a manufatura (BIAZUS *et al.*, 2010).

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar a anisotropia e a instabilidade dimensional da madeira sólida, diminuir seu custo e melhorar as propriedades isolantes, térmicas e acústicas. Adicionalmente, suprem uma necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (a largura), para assim, otimizar a sua aplicação (ZENID *et al.*, 2004)

De forma simplificada, os painéis podem ser classificados conforme apresentado na Figura 1, sendo que no segmento de móveis, os principais utilizados são os painéis MDP (*Medium Density Particleboard*), conhecidos popularmente como aglomerados e os painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*)

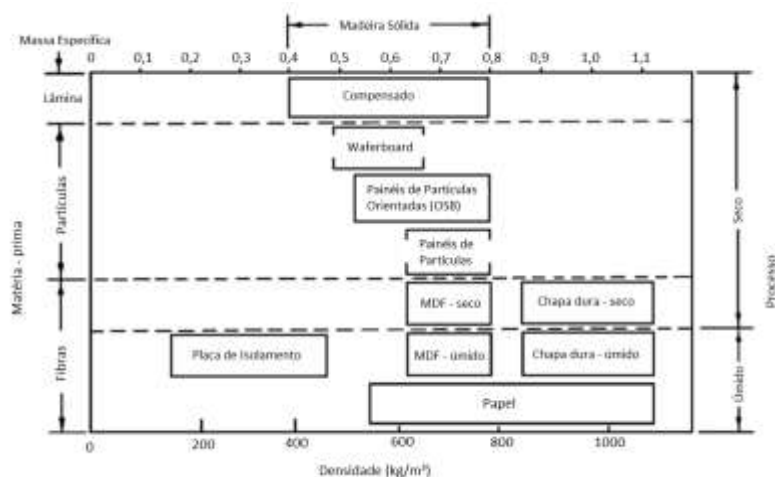
Figura 1- Produtos compostos de madeira.



Fonte: Adaptado de Mendes, 2001.

Outra classificação dos painéis compostos de madeira que merece destaque baseia-se no tamanho das partículas, massa específica e processo. A qual está descrita na Figura 2.

Figura 2- Classificação dos painéis compostos de madeira.



Fonte: Adaptado de Suchsland and Woodson, 1986.

## 2.2.2 Histórico

O compensado foi o primeiro painel produzido industrialmente no mundo, no início do século XX nos EUA. Desde então, as indústrias de compensado se firmaram como um importante segmento da indústria madeireira e, pelo desenvolvimento de sistemas de produção mais eficientes, melhoraram a qualidade do produto e reduziram os custos de produção (ABREU, 2006). Já os painéis de partículas de madeira aglomerada, por sua vez, surgiram na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de lâminas para compensados, devido ao isolamento do país durante a 2ª Guerra Mundial (SETUBAL, 2009).

No Brasil, os primeiros compostos de madeira fabricados foram as vigas laminadas em uma indústria fundada em 1934 na cidade de Curitiba – PR, a ESMARA Estruturas de



Madeira Ltda, a qual utilizava tecnologia trazida por alemães (CUNHA, 2007). Em 1940, houve a instalação da primeira fábrica de painéis compensados na região Sul do Brasil, tendo como matéria-prima principal o pinho, madeira extraída da *Araucaria angustifolia*, popularmente conhecida como Pinheiro do Paraná (PRATA, 2006).

O início de produção de painel de fibras no Brasil foi em 1955, sendo voltada para painéis de fibras/isolantes e chapas duras. (IWAKIRI, 2005a). Segundo a Eucatex (2014) a primeira fábrica, hoje conhecida como Unidade Painéis, foi inaugurada em Salto (SP), em 1954. Lá, a Eucatex iniciou suas atividades produzindo forros acústicos e painéis *soft* de fibras de madeira. Pouco depois passou a fabricar painéis isolantes e acústicas. No final dos anos 60 até 1980, a Eucatex inaugurou uma nova fábrica de chapa dura.

Segundo Iwakiri (2012a), na década de 60, entrou em operação a primeira indústria de painéis aglomerados, a Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba-PR, dando início ao desenvolvimento desse segmento como um dos principais fornecedores de matéria-prima para indústria moveleira no Brasil. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordos e problemas quanto à fixação de parafusos. Contudo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de massa específica e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas (ABIPA, 2002).

Na década de 1990, iniciou a era dos painéis MDF (*Medium Density Fiberboard*) para atender à crescente demanda das indústrias moveleiras. A primeira unidade produtiva foi instalada em Agudos - SP, em 1997, seguida por outra unidade em Piên - PR. Ao mesmo tempo, chegou ao Brasil à tecnologia da prensa contínua, que permitiu a

manufatura de produtos de maior qualidade com alta produtividade, aumentando a competitividade do MDF no mercado (IWAKIRI, 2012a).

Em 2002, foi instalada a primeira fábrica de OSB (*Oriented Strand Board*) no Brasil, a qual está situada na cidade de Ponta Grossa – PR. Atualmente a planta possui uma capacidade produtiva de 350.000 m<sup>3</sup> (LP Brasil, 2014).

O Brasil está entre os mais avançados no mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída. É também o país com o maior número de fábricas de última geração. Com investimentos contínuos em tecnologia e automação, as empresas construíram versáteis e modernos parques industriais destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, de impregnação, de revestimento e de pintura (ABIPA, 2010).

Segundo a ABIPA (2014), atualmente as empresas fabricantes de painéis de madeira geram 30 mil postos de trabalho. São empresas de grande porte e seus escritórios e fábricas estão localizados nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Pará. Na Figura 3 estão apresentadas as empresas de painéis de madeira, bem como as suas localizações no Brasil.

Figura 3- Mapa das empresas de painéis no Brasil.



Fonte: ABIPA, 2014.

### 2.2.3 Mercado

De acordo com Vieira *et al.* (2012), o consumo de madeira serrada vem diminuindo gradativamente, enquanto que o consumo de painéis possui uma tendência crescente. Essa redução ocorre basicamente por alguns fatores principais:

- a) a escassez de madeira de grandes diâmetros economicamente viáveis para exploração;
- b) o acelerado desenvolvimento tecnológico para a produção de painéis à base de madeira mais baratos e competitivos;
- c) a crescente pressão ambiental exercida por diversos setores da sociedade – em especial, dos países temperados que são essencialmente os consumidores desses produtos – contra a destruição das florestas;
- d) a crescente aceitação do mercado em substituir os produtos de madeira sólida por painéis à base de madeira que atendam às necessidades específicas dos mesmos.

Os mesmos autores observaram uma preferência por parte dos países em desenvolvimento por painéis à base de madeira, principalmente em função do preço. E ainda comentam que a indústria de painéis de madeira é de suma

importância para a economia brasileira, sobretudo pela dinâmica de novas tecnologias associada à geração de renda e emprego nos setores moveleiro e da construção civil, sendo este o de maior crescimento atualmente no País. O crescimento econômico interno, aliado ao crescimento mundial do consumo de madeira processada mecanicamente, é reflexo do aumento do poder aquisitivo das classes menos privilegiadas e da valorização da moeda nacional frente ao dólar.

Em termos mundiais, o Brasil está entre os dez maiores produtores de painéis no mundo, ficando em 6º lugar no ano de 2008 (BIAZUS *et al.*, 2010), sendo que o mercado de painéis de madeira industrializada encontra-se em expansão no país. Nos últimos 10 anos, a produção anual de painéis de madeira industrializada cresceu de 3,1 milhões de toneladas para 7,3 milhões, um crescimento médio de 8,9% ao ano. Da mesma forma, o consumo anual de painéis de madeira também cresceu de 2,8 milhões de toneladas, para 7,2 milhões, com incremento médio de 9,9% a.a. Em 2012, a produção de painéis de madeira industrializada cresceu 12,3% e o consumo, 10,8% (ABRAF, 2013).

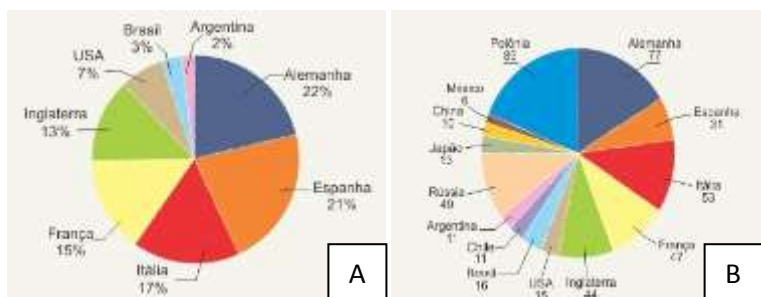
O crescimento do mercado de painéis está fortemente ligado ao cenário econômico interno, onde o aumento de renda e o crescimento da construção civil são fatores que impulsionam o mercado imobiliário e o consumo de bens duráveis, implicando, consequentemente no aumento da demanda das indústrias por painéis de madeira industrializada para a fabricação de produtos de consumo (ABRAF, 2013).

Embora a maior produção do país seja de MDF, Biazus *et al.* (2010) afirmam que o MDP é o painel mais consumido no mundo, sendo utilizado na fabricação de móveis retilíneos (tampas de mesas, laterais de armários, estantes e divisórias) e, de forma secundária, na construção civil.

Segundo ABIPA (2014) o consumo *per capita* de painéis MDP no mundo nos anos de 2006 e 2012, aumentou, conforme apresentado na Figura 4.

Esse aumento de consumo pode ser devido aos custos de produção, que conforme Biazus *et al.* (2010), os principais insumos utilizados na fabricação dos painéis de madeira reconstituída são a madeira e as resinas. Em média, no Brasil, necessita-se de cerca de 30% mais estéreos de madeira na fabricação do MDF do que na fabricação do MDP, o que se reflete, historicamente, em custos de produção do MDF cerca de 30% superiores aos custos de produção do MDP. Em consequência disso o preço final do MDP torna-se inferior ao MDF, aumentando o consumo.

Figura 4- Consumo per capita (m<sup>3</sup>/1000 habitantes) de MDP nos anos de 2006 (A) e de 2012 (B).



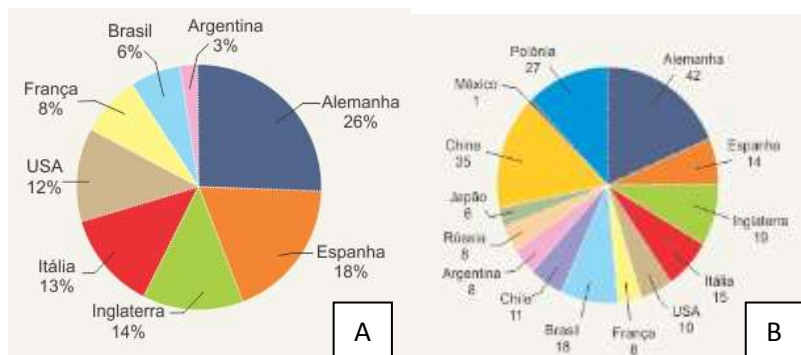
Fonte: ABIPA, 2014.

Segundo Biazus *et al* (2010), também muito utilizado na fabricação de móveis, o MDF se sobressai ao MDP pelo fato de características mecânicas específicas que o aproximam da madeira sólida, como consistência, boa estabilidade dimensional e grande capacidade de usinagem. Em menor escala, há a aplicação na construção civil, como piso, rodapé e batente, entre outros. Apesar das diferenças na aplicação, os processos de produção do MDP e do MDF são similares. Com o menor consumo mundial, o painel de fibra é utilizado particularmente na fabricação de móveis, sobretudo em fundos de gavetas e de armários.

O consumo *per capita* de painéis MDF no mundo, comparando os anos de 2006 e 2012, aumentou consideravelmente, podendo ressaltar que, da mesma forma que os painéis MDP, houve um aumento no número de países que usufruem desse produto, conforme apresentado na Figura 5 (ABIPA, 2014).

Biazus *et al.* (2010) complementa que nos últimos 12 anos, o consumo aparente de painéis de madeira apresentou crescimento médio de 7,2% a.a. (11,2% a.a. para os painéis de madeira reconstituída e -4,2% a.a. para os compensados), basicamente em função da qualidade dos novos produtos oferecidos, sobretudo do MDF, e da escassez de madeira sólida.

Figura 5- Consumo per capita (m<sup>3</sup>/1000 habitantes) de MDF nos anos de 2006 (A) e de 2012 (B).



Fonte: ABIPA, 2014.

## 2.3 PAINÉIS MDP

O MDP é tido como uma versão melhorada do painel aglomerado, em função de melhorias técnicas ocorridas na qualidade do produto (BIAZUS *et al.*, 2010; IWAIRI, 2005a; MATTOS *et al.*, 2008).

Neste painel, as partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas graduadas. São aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua de última geração. É o resultado da evolução da tecnologia de prensas contínuas e pertence a uma nova geração de painéis de partículas de média densidade (ABIPA, 2014).

A ABIPA (2014) complementa ainda que é um painel homogêneo e de grande estabilidade dimensional (largura, comprimento e espessura), resistindo muito bem à flexão e ao arrancamento de parafusos.

Pelas suas características, o MDP é especialmente indicado para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas. Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta. (ABIPA, 2014).

### **2.3.1 Matéria – prima**

Os painéis MDP são produzidos com madeiras de cultivos florestais sustentáveis de *Pinus* e *Eucalyptus*. As florestas plantadas permitem o uso da madeira em larga escala, reduzindo a pressão sobre as florestas nativas (ABIPA, 2014). Porém, além da utilização da madeira das florestas plantadas na fabricação dos painéis, há um consumo em larga escala dos resíduos gerados nos processos de transformação da madeira, e também daqueles gerados pelas próprias fábricas produtoras de painéis.

Em função da característica da matéria-prima utilizada (madeira), e do próprio processo de fabricação que envolve a transformação da madeira em cavacos e posteriormente em material de menor granulometria, com consequente transporte

deste material ao longo do processo produtivo, a geração de resíduos sólidos é um aspecto ambiental importante na indústria de painel de partículas, cujo impacto associado é a poluição (CHIPANSKI, 2006).

Todo processo de transformação da madeira gera resíduos, em menor ou maior quantidade, sendo que somente 40 a 60% do volume total da tora é aproveitado, o restante tornam-se resíduos (FONTES, 1994 e OLANDOSKI, 2001). A empresa Placas do Paraná (2005) citado por Chipanski (2006), complementa que para a fabricação de painéis de madeira aglomerada o aproveitamento da árvore é de 80%.

Chipanski (2006) classificou os resíduos de madeira predominantes, originados nas indústrias de painéis reconstituídos e de painéis compensados, e que possuem capacidade de serem reutilizados na fabricação de outros painéis, sendo eles assim classificados:

a) sobras: peças processadas e acabadas, apresentando boa qualidade técnica e comercial, mas que não foram usadas nos produtos finais (TEIXEIRA, 2005).

b) rolo-resto: resultante do processo de laminação da tora, na indústria de painéis compensados.

c) retalhos: resultantes do processo de esquadrejamento dos painéis de madeira.

d) rejeito: peças que ao sofrer o processamento, ficaram abaixo dos padrões técnicos ou comerciais, geralmente por apresentarem defeitos de qualidade (TEIXEIRA, 2005).

e) pó de lixamento: proveniente do processo de lixamento na fase de acabamento de uma peça de madeira. Apresenta-se como um pó muito fino, cuja partícula varia de acordo com o número da aspereza da lixa (TEIXEIRA, 2005).

f) superdimensionados: resultam após o processo de seleção das partículas/fibras, onde as mesmas apresentam o tamanho fora do padrão desejado.

Mais de um terço do resíduo gerado é na forma de pó. Enquanto muitas plantas queimam, algumas têm restrição



ambiental devido a emissão de particulados e de óxidos de nitrogênio. Na média, 65% do pó de lixamento é usado como combustível nos secadores e aquecedores. A maior parte do restante é utilizada novamente para a fabricação dos painéis. O pó de lixamento é um material de difícil manuseio e requer equipamentos especiais para carregamento e descarregamento, para evitar perdas. Portanto embora sendo um excelente combustível, menos de 10% do pó gerado é transportado para fora das plantas (SMITH, 2004).

Os rejeitos e aparas do colchão são a segunda maior categoria de resíduos. Quase todo o material não prensado retorna para fazer parte do material da camada interna dos painéis, mas uma pequena quantidade é queimada ou disposta em aterros (SMITH, 2004).

Materiais do corte dos painéis e do esquadrejamento geram 25 ton/dia, sendo 70% reciclada para fabricação dos painéis e o restante é queimado. Rejeitos de painéis se originam de painéis delaminados, estourados, ou de qualidade inferior. Muitas plantas possuem equipamentos para moer os painéis e então utilizar o material como combustível, ou recircular no processo de fabricação dos painéis. Uma quantia significativa é utilizada para calços nos pacotes dos painéis (SMITH, 2004).

Uma das alternativas para a utilização desses resíduos é a fabricação de painéis de partículas e fibras podendo ser o próprio aglomerado, chapas duras, MDF, entre outros. Inclusive a indústria de painéis aglomerados surgiu para o melhor aproveitamento de madeiras menos nobres e resíduos. Os EUA utilizam os resíduos de madeira como fonte principal de matéria-prima na indústria de aglomerados, no entanto o Brasil utiliza no máximo 15%. É importante ressaltar que para utilização dos resíduos na indústria de painéis, devem ser observadas questões com relação ao tamanho das partículas utilizadas, que devem ser adequadas para o processo

influenciando diretamente a qualidade do produto (BRITO, 1995).

Sendo assim, a estratégia mais popular para redução dos impactos ambientais na indústria de painéis de partículas causados pelos resíduos é utilizá-los para fabricação das próprias painéis (SMITH, 2004).

### **2.3.2 Processo produtivo**

Conforme Maloney (1993) e Satipel (2005) o processo de fabricação do painel aglomerado, inicia com a geração das partículas, que é feita por meio de picadores, moinhos ou cepilhadores. Após o processo de preparação das partículas é realizada o processo de secagem, onde se reduz a umidade do material até aproximadamente 4%.

Após a secagem o material é classificado em dimensões pré-determinadas, tendo em vista que são utilizadas partículas com maiores dimensões na camada interna e partículas menores ou finos nas camadas externas. A utilização de finos na superfície do aglomerado tem a finalidade de conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimentos (IWAKIRI *et al.*, 2005b).

Posteriormente, as partículas provenientes da classificação são transportadas de forma independente até os aplicadores individuais de adesivo, o qual é composto por resina, emulsão de parafina, catalizador e se necessário retardantes de fogo e produtos preservantes.

De acordo com Chipanski (2006), após a aplicação do adesivo, o material segue para a estação formadora, formando o colchão. Dependendo do processo, pode ocorrer uma pré-prensagem a frio do colchão, de forma a melhorar a interação partículas – adesivo e reduzir a sua altura para facilitar o carregamento da prensa. Atualmente, os sistemas de prensagem a quente envolvem o uso de prensas contínuas, o que permite

segundo Maloney (1993) o aumento de velocidade da linha de produção, evitando tempos improdutivos como no carregamento, descarregamento, fechamento e abertura das prensas convencionais.

Após a prensagem, os painéis são transportados para um sistema de resfriamento antes da estocagem. Posteriormente ao acondicionamento, os painéis são cortados nas dimensões comerciais, calibrados e lixados para remoção de imperfeições e nivelamento de superfície (SATIPEL, 2005). Finalizando o processo, efetua-se a classificação e o armazenamento. A Figura 6 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de painéis MDP.

Figura 6- Fluxograma do processo de fabricação dos painéis MDP.



Fonte: IWAKIRI, 2005a.

## 2.4 PAINÉIS MDF

Os painéis de MDF (*Medium Density Fiberboard*) são definidos por Maloney (1996) como painéis fabricados a seco, feitos com fibras lignocelulósicas combinadas com uma resina sintética ou outro agente ligante, compactados a uma massa

específica de 0,50 a 0,80 g/cm<sup>3</sup> por prensagem a quente, num processo em que a totalidade da colagem entre as fibras é criada pelo adesivo adicionado.

Uma característica favorável presente nos painéis MDF é a maior massa específica nas faces. Esta maior densificação coincide com a região mais solicitada quando o painel trabalha sob o esforço de flexão estática. A menor quantidade de espaços vazios permite a pintura de madeira mais econômica e superfícies usinadas com menor rugosidade (ELEOTÉRIO, 2000).

De uma forma geral os painéis MDF apresentam maior estabilidade dimensional que os painéis de partículas ou aglomerados (GRIGORIOU, 1983 e SUCHSLAND *et al.*, 1978). Este fato é explicado pelo menor teor de umidade no equilíbrio com o ambiente, pela estrutura do painel e pelo baixo potencial de sorção (NIEMZ & POBLETE, 1996; JENSEN & KEHR, 1995 e XU & SUCHSLAND, 1991).

Segundo a ABIPA (2014) devido suas características, o MDF é amplamente utilizado na indústria moveleira para frontais em peças com usinagens e trabalho de baixo relevo, nos fundos de móveis, lateral e fundo de gavetas e também para artesanatos diversos. Na construção civil é utilizado para fabricação de pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens.

#### **2.4.1 Matéria-prima**

Segundo a ABIPA (2014) os painéis MDF são comumente produzidos com a mesma matéria prima do MDP, ou seja, com madeiras de cultivos florestais sustentáveis de *Pinus* e *Eucalyptus*.

Em geral, a utilização de madeira de baixa massa específica permite a fabricação de painéis com melhores propriedades mecânicas do que quando se utiliza madeira de

alta massa específica. Isso decorre da possibilidade de compactar painéis de média massa específica com um suficiente contato entre as fibras, o que possibilita uma melhor colagem. Espécies de baixa massa específica também permitem a compactação com menor demanda de pressão. Usualmente utilizam-se taxas mínimas de compactação, em torno de 1,3 (MALONEY, 1989).

Iwakiri (2005a), descreve que, para a obtenção de fibras, podem ser utilizadas madeiras na forma de toras com diâmetro acima de 50 mm, ou na forma de resíduos de madeira resultantes de outros processos de transformação, como costaneiras, pontas e aparas, rolo-resto de laminação e outros resíduos de exploração florestal. Em menor proporção (até 15%) também podem ser utilizadas a serragem e a casca para produção de painéis de fibras duras.

Torquato (2008) complementa ainda que outros materiais também podem ser utilizados no processo, como resíduos agrícolas, bambu, fibras de casca de coco, no entanto estão sujeitos a alguns fatores como, a disponibilidade, condições climáticas, manuseio, transporte entre outros.

No caso da principal matéria-prima, a madeira, pode ser tanto de coníferas como de folhosas. Com preferência para aquelas que possuem paredes celulares finas, por facilitarem o desfibramento, apresentando maior área de contato e contribuindo para o desenvolvimento de um número maior de ligações do tipo pontes de hidrogênio, ainda mais fortes. A escolha pela espécie depende do produto final e de sua aplicação. As coníferas são bem utilizadas, por exemplo, para produção do MDF em função de sua coloração clara, é menos densa e tem fibras mais longas com parede celular mais fina, já as folhosas são mais utilizadas para painéis isolantes e chapas duras, pois são espécies com fibras mais curtas e de parede celular mais espessa, na maioria das vezes mais densas. Mas também é possível a mistura de espécies, como na Europa onde algumas empresas misturam 80% de conífera, pinus, e 20% de

folhosas como a castanheira. No Brasil as empresas estão fabricando painéis mistos em que as principais espécies são pinus e eucaliptos em diversas proporções, uma das proporções mais utilizadas na mistura é de 70% de fibras de pinus com 30% de fibras de eucalipto conforme especificações de fabricantes (TORQUATO, 2008).

No caso da matéria-prima para os painéis de fibra de média massa específica no Brasil, Belini (2007) afirma que no período entre 1997/2002, o país baseou-se exclusivamente na madeira de *Pinus*, já no período 2003/2006 a madeira de eucalipto foi utilizada em 17% da produção, atingindo 23,1% partir de 2006, indicando uma crescente tendência da participação da madeira de eucalipto na produção nacional de painéis MDF.

#### **2.4.2 Processo produtivo**

Segundo Bom (2008) o processo de fabricação de MDF inicia-se no descascamento das toras e ainda destaca que o tamanho da tora não influencia, podendo apresentar dimensões mais limitadas.

Após o descascamento, as toras passam por um picador para a geração de cavacos. Com a irregularidade dimensional dos cavacos, os maiores são separados por peneiras, e retornados para picadores. A partir daí, os cavacos são encaminhados para um ciclone separador de pó e em seguida destinados a um silo, que armazena um volume suficiente para 18 a 24 horas de operação. Antes de serem destinados ao processamento, os cavacos passam por um detector e separador de metais, pois a presença de partículas metálicas pode causar problemas operacionais (TORQUATO, 2008). Bom (2008) complementa que os cavacos também são classificados por baterias de peneiras e, em seguida, retornam ao picador.

A próxima etapa é o pré-tratamento dos cavacos, onde são amolecidos para facilitar a operação do desfibrador para a

formação da polpa (suspensão de fibra e água) e reduzir seu consumo energético. Este processo pode ser hidráulico, térmico ou químico, com ou sem pressurização, onde os cavacos devem estar ou ser umedecidos entre 40 a 60% de umidade (referido ao peso da madeira seca). Estes procedimentos não são necessários quando as fibras, já consideradas como polpa, são obtidas por um processo abrasivo, onde no início da linha de produção as toras descascadas são pressionadas contra grandes rebolos abrasivos num meio aquoso. No pré-tratamento químico, os cavacos são colocados num digestor com sulfito, hidróxido de sódio ou cal. No processo térmico, os cavacos de madeira são cozidos sob uma atmosfera de vapor d'água, ou estes são umedecidos e aquecidos diretamente em reservatórios fixos ou rotativos. Isso resulta numa polpa de fibras mais resistente, flexíveis e com maior propriedade aglomerante, formando painéis mais rígidos (TORQUATO, 2008).

As fibras também podem ser obtidas em desfibradores mecânicos, através de técnicas de aumentos brusco de pressão (explosão), ou por métodos de aquecimento elevado, os quais utilizam as propriedades termoplásticas dos materiais lignocelulósicos (150 a 180°C, amolecendo a lignina). A partir desse ponto, os métodos de fabricação podem ser classificados como processo úmido, semi-úmido e seco, fazendo referência à quantidade de água utilizada no processo de formação da manta inicial, ou colchão de fibras. Essa etapa, chamada também de entrelaçamento, difere no processo de fabricação de painéis isolantes para a de produção de painéis duros. (TORQUATO, 2004).

Após a lavagem é adicionada à resina, o catalisador e, em alguns casos, certos aditivos, e mistura-se a matéria-prima. As resinas mais utilizadas são à base de uréia-formaldeído, melanina-uréia-formaldeído e tanino-formaldeído. Posteriormente, ocorre a secagem das fibras, pois o elevado teor de umidade das fibras acarreta uma série de problemas quando o colchão é formado e prensado a quente (BOM, 2008).

A partir de então ocorre o armazenamento das fibras no silo de fibras, também chamado de tanque "pulmão", onde este tem a função de acumular um volume adequado de fibras para a formação do colchão (entrelaçamento), sem que ocorra uma provável interrupção em função de distúrbios na linha de fluxo das fibras (BOM, 2008).

Em seguida, inicia-se a produção do colchão de fibras, em que o colchão seco foi formado a partir de uma suspensão das fibras ao ar. A altura do colchão é delimitada por um cilindro dentado acoplado a um tubo seccionador de fibra excedente. Posteriormente, tem-se o seccionamento sendo realizado por um conjunto de equipamentos cujas operações dão a forma final ao MDF. Quando o processo de secagem é intermitente, a manta é cortada por lâminas circulares não-dentadas e, em seguida, encaminhada às operações de pré-prensagem e prensagem a quente (BOM, 2008).

Para finalizar ocorre a pré-prensagem que irá evitar possíveis desmanchamentos e deslizamentos das fibras do colchão durante a prensagem a quente. Para cada sistema de prensagem, existe um tipo de linha de formação. Em seguida o resfriamento é efetuado para evitar variações dimensionais do painel após o aquecimento. Normalmente, são resfriadas à temperatura ambiente, protegidas das intempéries, onde o tempo depende do tipo de linha de formação utilizada. E por último faz-se o corte para estabelecer a medidas dos painéis de MDF, conforme padrões estabelecidos, o lixamento está para à preparação da superfície dos painéis e para acabamentos finais (BOM, 2008).

## 2.5 RESÍDUOS DO PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS MDP E MDF

Segundo Smith (2004), os resíduos gerados no processo de fabricação de painéis são aquele proveniente da limpeza e dos rejeitos, aparas do colchão, rejeito dos painéis, corte dos



painéis e pó de lixamento. Ainda de acordo com o mesmo autor, eles são destinados a reciclagem, ou seja, reutilizados na fabricação de outros painéis, combustível interno ou combustível externo, aterro, reciclagem ou embalagens.

Weber (2011), em seu trabalho a respeito da viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerado esclarece que os resíduos dos painéis, como o pó resultante do lixamento, seguem para a usina de energia e que nas empresas produtoras dos painéis utilizados em sua pesquisa, outros resíduos como retalhos, aparas e cavacos, são geralmente destinados à geração energética.

No entanto, nas empresas fabricantes de painéis MDF, quando ocorre a classificação da fibra para seguir para a formação do colchão, algumas apresentam tamanho superior aos utilizados pela empresa, dessa forma as mesmas serão descartadas. Porém, as fibras superdimensionadas (*oversize*) que são descartadas, já passaram pela etapa de aplicação de resina e parafina, se tornando nocivas ao meio ambiente, caso sejam queimadas em caldeiras para a geração de energia, devido a emissão de formaldeído.

De acordo com a fábrica de painéis Masisa, citada por Hedlund (2013), o formaldeído é um componente que pode ser encontrado na natureza (como por exemplo, nas árvores, que emitem formaldeído) e em vários elementos de uso diário, como móveis, filmes fotográficos, toalhas de papel, cosméticos e produtos de cuidado pessoal, entre outros. Também encontramos essa substância nas resinas sintéticas utilizadas na fabricação de painéis de madeira.

A presença das substâncias tóxicas no MDF faz com que a destinação do resíduo produzido seja sensata. Não é permitido a queima do resíduo devido aos efeitos causados ao ecossistema. Seu reaproveitamento deve prever a aplicação de maneira inerte, sem que venha causar danos (HEDLUND, 2013). Porém, Bom (2008) ressalta que no caso dos painéis de

madeira reconstituída, o aproveitamento de resíduo está mais limitado à queima para geração de energia, sendo que o descarte indevido pode causar poluição nos recursos hídricos, inutilização de áreas que poderiam ser melhor aproveitadas e poluição de maneira geral.

## 2.6 FATORES QUE INFLUENCIAM NAS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS

No processo produtivo de painéis de madeira, inúmeras variáveis interagem influenciando as propriedades do produto final. As principais variáveis de influência e controle são a massa específica da madeira e do painel, geometria das partículas, teor de umidade, tipo e teor do adesivo, método de formação do colchão e parâmetros de prensagem (MOSLEMI, 1974; KELLY, 1977; MALONEY 1993; TRIANOSKI, 2010).

### 2.6.1 Fatores inerentes a madeira

#### 2.6.1.1 Espécie

De acordo com Mendes (2001) a espécie botânica é uma das mais importantes variáveis presentes no processo de produção de painéis, pois, interage com todas as outras variáveis no processo. Além de determinar a massa específica, a espécie influencia na formulação do adesivo utilizado, fato atribuído a presença de extrativos e variação do pH. Nesse mesmo sentido, algumas espécies requerem um maior controle de umidade das partículas em decorrência da possibilidade de ocorrência de estouro, ou separação das camadas, durante a prensagem final do painel.

As espécies com massa específica de até 0,55 g/cm<sup>3</sup> são as mais adequadas à produção de painéis de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6,

considerada a faixa ideal para o processo de densificação e consolidação do painel até a espessura final (MALONEY, 1993).

Segundo Kollmann, Kenzi e Stamm (1975), as propriedades da madeira possuem um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as coníferas. Matos (1988) complementou que as espécies também exercem influência sobre os parâmetros de prensagem, onde as características anatômicas particulares estão presentes nas partículas submetidas à condição de compressão, o que influi na resistência oferecida à compactação sob as condições de pressão e temperatura.

No Brasil, os painéis são produzidos utilizando madeira do gênero *Pinus*. Esta matéria-prima confere aos painéis propriedades semelhantes às dos produzidos pelas indústrias americanas e canadenses, cujos países são os maiores produtores mundiais (MENDES *et al.*, 2001). Segundo Iwakiri *et al.* (2004a), o *Pinus taeda* L. é a espécie mais empregada na produção de painéis no Brasil.

De acordo com Marto *et al.* (2006), as espécies de *Pinus* que são indicadas para a produção de painéis particulados são as seguintes: *Pinus taeda*, *P. oocarpa*, *P. pinea*, *P. palustres*, *P. pinaster*, *P. patula*, *P. caribea*, *P. chiapensis*, *P. maxiinoi* e *P. tecunumanni*.

#### 2.6.1.2 Massa específica

A massa específica do painel está intimamente associada à massa específica das madeiras empregadas na sua fabricação e à taxa de compressão necessária para a sua compactação sendo estas as variáveis que mais afetam as propriedades de resistência dos produtos formados (HILLIG, 2000).

Vital (1973), Haselein (1989) e Iwakiri (1995), ressaltam que, comparando painéis de mesma massa específica, pode-se dizer que quando eles são produzidos com madeira de menor massa específica geralmente apresentam mais vantagens que aquelas produzidas com madeira de maior massa específica.

Hillig (2000) explica que isso se deve ao fato das madeiras mais leves permitirem maior compressibilidade e terem área de partículas maior para um mesmo peso, o que resulta num melhor contato entre elas, além de uma melhor colagem. Porém, madeiras leves podem produzir uma alta quantidade de finos, dificultando a colagem. Moslemi (1974) complementa que painéis produzidos com espécies de baixa massa específica geralmente apresentaram maior resistência à flexão e à tração, porém, irão apresentar resultados ruins a absorção, inchamento e taxa de não retorno em espessura.

No estudo realizado por Albuquerque (2002) com painéis aglomerados com massa específicas de 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm<sup>3</sup>, foram constatados aumento nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura, para painéis com maiores massas específicas. Por outro lado, os valores de absorção de água diminuíram com o aumento na massa específica dos painéis.

Outro fator limitante na fabricação de painéis é a variação da massa específica, pois conforme Maloney (1993) as variações na massa específica do material a ser processado podem provocar severos problemas nas operações de moagem e secagem, no consumo de resinas, nas operações de prensagem e nas propriedades físicas do produto final.

Além disso, a massa específica da madeira afeta a relação entre a pressão de prensagem e a resistência do colchão de partícula durante a prensagem a quente e, como consequência disso, provoca mudanças na distribuição da massa específica vertical, resultando em um considerável

impacto no processo de manufatura do painel e nas suas propriedades físico-mecânicas (MENDES, 2011).

Lynan (1959), cita que a massa específica da madeira influenciará no volume de material para produzir os painéis e no consumo de adesivo. Painéis de mesma massa específica podem ser feitos com menos volume de madeira “pesada” do que de madeira “leve”, em razão de permitirem menor compressibilidade. A madeira de alta massa específica produz menor área de partículas, diminuindo a quantidade de adesivo aplicada, porém, tem-se também menor área de contato entre as partículas, em razão do menor número destas para um mesmo peso, o que conduz à formação de painéis com baixa resistência mecânica. Assim, deve-se aumentar a massa específica do painel ou a quantidade de adesivo aplicado. Porém, espécies de maior massa específica podem ser utilizadas em mistura com espécies de menor massa específica, em proporções variáveis, conforme a magnitude de diferença de massa específica entre as espécies (MOSLEMI, 1974; MALONEY, 1993).

### 2.6.1.3 Teor de umidade da matéria prima

A umidade da madeira tem grande influência no processo de prensagem e na transformação da madeira em partículas. No processo de prensagem é de grande importância para a transformação dos painéis de boa qualidade, no entanto, deve-se distinguir umidade da madeira e umidade do colchão de partícula, sendo que esta pode ser controlada e alterada durante o processo (HILLIG, 2000).

Conforme Koch (1964), madeira saturada produz partículas de melhor qualidade que madeira seca. Quanto mais seca estiver a madeira, maior será a formação de poeira ou partículas muito finas e maior será a aspereza das superfícies formadas. Partículas com superfícies ásperas ocasionam menor contato superficial no momento da colagem em razão do

umedecimento incompleto. Hillig (2000), complementa que o desgaste das máquinas será maior quanto menor a umidade da madeira. Por estas razões, os processos de fabricação de aglomerados pressupõem o corte da madeira verde ou saturada para posterior secagem das partículas até a umidade desejada.

Segundo Maloney (1989) a alta umidade dos cavacos aumenta os custos da secagem, produz fibras crespas que dificultam a colagem e demandam mais resina. Além disso, podem dificultar a picagem ou moagem do material, por causa da obstrução do equipamento, e também aumentar os custos de secagem. No entanto, madeiras com elevado teor de umidade possuem, normalmente, um melhor rendimento em partículas devido a reduzida quantidade de finos produzida, pois, nessa, condição, a quebra de fibras se reduz durante a geração de partículas (MALONEY, 1993).

De acordo com Albuquerque (2002), a condição úmida ideal das toras deve se situar pouco acima do ponto de saturação das fibras.

#### 2.6.1.4 Propriedades Químicas

##### a) Extrativos

Os extrativos são compostos de óleos voláteis, terpenos, graxas, ésteres, alcoóis, mono e polissacarídeos, alcalóides e compostos aromáticos como, aldeídos, fenil-propano, estilbenos, flavonóides, taninos e quinonas (Goldstein, 1991), podem estar contidos tanto na parede celular quanto no lúmen da célula (KOLLMANN e COTE, 1968).

Espécies com baixo conteúdo de extrativos são as mais desejadas para a produção de painéis. Em geral, as espécie de alto teor de extrativos são propensas à estouros no final do ciclo de prensagem. Os extrativos podem também interferir na cura da resina, além de resultar numa linha de cola de baixa resistência entre as partículas (CLOUTIER, 1998).

O efeito predominante dos extrativos está relacionado a redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira (Mendes, 2001), o que mais precisamente irá interferir no processo de colagem no que tange ao consumo de adesivo e na taxa de cura. Na dependência da quantidade e do tipo de extrativo presente na madeira, pode ocorrer uma interferência nas reações de polimerização do adesivo ou uma reação entre o adesivo e o extrativo (LIMA, 2006).

Adicionalmente, podem ser observadas baixas resistências à umidade em produtos acabados, que podem ser volatilizados na prensa, sob influência de pressão temperatura e umidade, causando formação de bolhas no painel, resultando no seu estouro durante a prensagem. Por outro lado, podem contribuir para menor absorção de umidade pelos painéis (HILLIG, 2000).

#### b) pH

O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se normalmente na faixa de 3 a 6 (MENDES, 2011). Já Stamm (1964) define o intervalo de pH para madeira entre 3,0 e 5,5. Trianoski (2010) cita que a acidez da madeira depende da quantidade e dos tipos dos extrativos.

Assim, além dos extrativos, o pH é outro composto químico que deve ser observado na hora do processo de colagem do painel, pois, conforme Binder (1967), a acidez da madeira determina a taxa de cura da resina e auxilia imensamente na determinação do tempo de prensagem, e Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) complementaram que a influência que o pH exerce sobre a solidificação do adesivo pode ser controlado.

Madeiras que apresentam pH pouco ácido requerem um catalisador externo para acelerar a cura da resina uréia-formaldeído e efetuar a prensagem em um tempo aceitável, no entanto, o uso excessivo de catalisador pode levar a pré-cura,

enfraquecer e deteriorar a colagem (BINDER, 1967). Ao mesmo tempo, espécies com alta acidez podem resultar também na pré-cura deste tipo de adesivo, prejudicando as propriedades do painel (MALONEY, 1993).

## **2.6.2 Inerentes ao processo**

### **2.6.2.1 Massa específica dos painéis**

A massa específica dos painéis está relacionada a quantidade de partículas para uma determinada dimensão e influencia nas suas propriedades físico-mecânicas (MALONEY, 1993; MENDES, 2001).

Bowyer (2003) citado por Trianoski (2010) cita que a massa específica de produtos baseados em lâminas, *strands* e partículas, diferem da massa específica da madeira sólida, devido à adição de adesivos, aditivos e pela compressão exercida durante o processo de manufatura. Este mesmo autor afirma que 3 a 12% desta variável é composta por adesivos ou aditivos.

Segundo Moslemi (1974) e Maloney (1993), painéis com maior massa específica apresentam maior resistência mecânica, entretanto a sua estabilidade dimensional é prejudicada. Esses autores atribuem este comportamento à maior quantidade de partículas de madeira e, conseqüentemente, a maior densificação do material durante o processo de prensagem.

Entretanto, quanto mais elevada for a massa específica dos painéis, maior será a dificuldade na usinagem, fato que pode se constituir como uma barreira na aceitação desses produtos junto ao mercado convencional, já acostumado com a utilização de painéis de massa específica menores (MALONEY, 1993)

Vital e Wilson (1980) argumentaram que o efeito da massa específica do painel na propriedade de variação



dimensional se deve diretamente a exposição à umidade, o que não é recomendado para esse tipo de produto. Os autores exemplificaram que em condições com baixa umidade relativa, o aumento em espessura independe da massa específica do painel, no entanto, quando a exposição ocorre em altas umidades relativas, este tende a aumentar com o aumento da massa específica.

Para painéis com maior massa específica, Marra (1992) recomenda o uso de maior quantidade de resina, tendo em vista a maior área superficial das partículas. Portanto, no procedimento para cálculo de materiais, deve-se levar em consideração a proporcionalidade entre a quantidade de partículas e a de resina para painéis de diferentes massas específicas.

A perda de materiais durante a formação do colchão e prensagem dos painéis, além do retorno em espessura do painel após a sua retirada da prensa, são fatores que influenciam diretamente na redução da massa específica do painel em função da redução de peso massa de partículas do colchão e aumento da espessura e volume do painel (IWAKIRI *et al.*, 2008).

A massa específica do painel pode ser modificada basicamente a partir de dois fatores, conforme exposto por Desch (1962): usando madeiras de diferentes massas específicas ou variando a densificação do painel. No entanto, Price (1977), complementou que esta variável depende também do método de fabricação.

#### 2.6.2.2 Razão de compactação

De acordo com Maloney (1993), a razão de compactação, que é definida como a relação entre a massa específica do painel e a massa específica da madeira, é um parâmetro de grande importância na estabilidade dimensional e na resistência mecânica do painel aglomerado. Painéis com

maior razão de compactação terão propriedades mecânicas superiores, mas com menor estabilidade dimensional. Segundo Moslemi (1974), essa relação pode ser modificada utilizando-se espécies de menor massa específica para a mesma massa específica do painel, ou, para a mesma espécie, aumentando-se a massa específica do painel. Kelly, (1977); Moslemi, (1974); Maloney, (1993) e Tsoumis, (1991), recomendam que a razão de compactação deve estar na faixa de 1,3 a 1,6 para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada.

Kollmann, Kenzi e Stamm (1975), afirmaram que todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000; HILLIG, HASELEIN e SANTINI, 2002). Já uma razão de compactação elevada caracteriza maior contato entre partículas e entre partículas e adesivo (KELLY, 1977). No entanto, uma maior razão de compactação do painel, decorrente do uso de madeiras de baixa massa específica, aumenta o inchamento em espessura, prejudicando a estabilidade dimensional dos painéis (MOSLEMI, 1974; TEODORO, 2008).

Esta propriedade se destaca em painéis de maior massa específica ou compactação devido a maior quantidade de material lenhoso, resultando na maior liberação de tensões de compressão impostas durante o processo de prensagem (MOSLEMI, 1974).

#### 2.6.2.3 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade é um dos mais importantes fatores na manufatura de painéis de partículas. Na indústria, as partículas de madeira são secas a um teor de umidade entre 3 e 6% dependendo do tipo e do teor da resina (MOSLEMI, 1974;

KOLLMANN, KENZI, STAMM, 1975; TSOUMIS, 1991). Após a mistura das partículas secas com a resina, o teor de umidade eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14% (TSOUMIS, 1991).

O teor de umidade exerce influência sobre a resistência da madeira à compressão, pois o colchão de partículas com teores mais elevados de umidade atingem, sob pressão, uma desejada espessura em um período de tempo mais curto. Neste caso, a umidade atua em conjunto com a temperatura, proporcionando uma maior plasticização da madeira que, então, oferece menor resistência à compressão (MATOS, 1988).

Quando a umidade das camadas superficiais do painel são vaporizadas pelo contato com os pratos aquecidos da prensa, migram para o miolo do painel e, desta forma, a resina reage mais facilmente do que se fosse transferência de calor por condução. Entretanto, a umidade em excesso, ao migrar para as camadas internas do painel, impõe um ciclo de prensagem muito mais longo, a fim de eliminar essa umidade pelas bordas evitando a delaminação com a liberação da pressão e abertura da prensa. Outrossim, ressalva-se que umidade em excesso interfere na reação química de polimerização e condensação inerentes ao processo de cura da resina (KELLY, 1977).

Segundo Moslemi (1974), níveis demasiadamente elevados ou reduzidos de umidade na mistura de partículas, resultam em problemas operacionais, produzindo painéis com baixa qualidade. Todavia, o teor de umidade ideal depende de inúmeros fatores, como natureza do processo, tipo e dimensão das partículas, massa específica da madeira, entre outros.

Conforme Kollmann, Kenzi e Stamm (1975) as partículas demasiadamente secas podem causar outros problemas, como por exemplo, riscos de incêndio em secadores, descargas eletrostáticas em tubulações, aumento do pó na indústria e painéis com bordas deficientes.

#### 2.6.2.4 Adesivo

Skeist (1990) comenta que os adesivos são substâncias que unem materiais, criando um todo que é maior que a soma de suas partes. Peredo (1991) confirma o mesmo, dizendo que os adesivos são utilizados para obter coesão e aderência entre as partículas do aglomerado. Ginzel e Peraza (1966) afirmam que, na fabricação de painéis aglomerados de madeira, a resina tem uma importância extraordinária devido a seu elevado preço, quando comparado com o da madeira, podendo chegar até 50% do preço total do produto manufaturado (CARNEIRO *et al.*, 2004).

Quanto à quantidade de adesivo utilizado, os autores comentam que as fábricas de painéis de partículas trabalham normalmente com cola em forma de emulsão, com um conteúdo sólido de 50 a 65%.

Segundo Suzuki e Miyamoto (1998), a elevação da porcentagem de adesivo em um painel de 6 para 12% provoca um leve aumento na expansão linear e uma redução no inchamento em espessura. Kelly (1977) e Moslemi (1974) complementam que a melhoria na estabilidade em espessura do painel é devido a melhoria nas ligações interpartículas. Entretanto, acima de um determinado nível, o aumento no teor de resina não mais melhora a ligação, pois apenas eleva o recobrimento da partícula com a resina.

Segundo Cloutier (1998) os quatro principais tipos de resinas atualmente empregados na indústria de painéis compostos à base de madeira, são os seguintes: uréia-formaldeído (UF), melamina-formaldeído (MF), fenol-formaldeído (FF), e difenil metano di-isocianato (MDI).

Adesivos à base de ureia-formaldeído são muito utilizados nas indústrias de painéis de madeira, principalmente pelo baixo custo, rápida reação em prensa quente e fácil manuseio. Segundo Roffael e Schneider (1983), 90% de todos os painéis aglomerados produzidos no mundo utilizam esse

tipo de resina. Entretanto, a baixa resistência à umidade limita o seu emprego ao uso interno (MARRA, 1992).

A cor clara desta resina a torna totalmente satisfatória para a fabricação de produtos decorativos (USDA, 1999). Seus principais usos incluem trabalhos em marcenaria e fabricação de móveis, e, em larga escala, na fabricação de aglomerados, MDF e compensados. Comercialmente, pode ser encontrada na forma de pó, filme e solução aquosa. A resina pode ser armazenada por vários meses a temperaturas de 10 a 15°C (HASELEIN e PAULESKI, 2003).

Segundo Pizzi (1994), as vantagens do uso de adesivos de UF são solubilidade em água inicial, dureza, não-inflamável, propriedades térmicas boas, ausência de cor na cura dos polímeros, fácil adaptabilidade para uma variedade de condições de cura. E, como desvantagens o autor cita a falta de resistência à água pela deterioração das ligações químicas e a suscetibilidade para emissão de vapores de formaldeído.

#### 2.6.2.5 Parafina

O elemento aditivo é uma emulsão de cera de parafina que está incorporado no painel por muitos fabricantes, como um retardante de absorção de água e redutor ao inchamento em espessura, ou seja, melhorando a estabilidade dimensional dos painéis. A quantidade usada deve ser pequena, sendo que aproximadamente 1% é considerada satisfatória (GINZEL e PERAZA, 1966).

A parafina pode ser aplicada antes ou depois da resina, ou ainda juntamente com a própria resina (HEEBINK, 1967). Segundo este mesmo autor, uma quantidade limitada de trabalhos publicados revela resultados inconclusivos, mas deixa o pensamento de que não existe uma diferença fundamental em quando o produto é aplicado.

Quanto a quantidade, Craighead (1991) revelaram em seu trabalho que pouca vantagem é obtida pela adição de mais

de 0,75%, de parafina baseada no peso seco das partículas, e que a adição de emulsão de parafina na resina provavelmente proporciona os melhores resultados devido à melhor distribuição.

Segundo Trianoski (2010), muito se relata sobre o fato de a inclusão da emulsão de parafina pode reduzir as propriedades de resistência, no entanto, Heebink (1967) discutiu que muitos pesquisadores têm estudado esta relação e que há um consenso de que quantidades de parafina igual ou inferior a 1% tem pouco ou nenhum efeito sobre as propriedades mecânicas do painel. Em afirmação a isso, Kelly (1977) descreveu que aplicações de parafina acima de 1% são as causadoras de reduções nas propriedades de resistência, pela influência sobre a polimerização do adesivo.

Porém Matos (1988), em avaliação do ciclo de prensagem em painéis *waferboard*, obteve aumento no módulo de ruptura com a adição de 1% de parafina. Segundo este mesmo autor, este resultado pode ser justificado pelo acréscimo de umidade às partículas, que teriam proporcionado menor resistência a compactação e maior polimerização da resina pelo menos nas camadas superficiais. Além disso, o autor frisa que para as propriedades dimensionais, houve redução na higroscopicidade dos painéis.

#### 2.6.2.6 Geometria das partículas

Segundo Kollman *et al.* (1975), a dimensão das partículas é uma variável de merecida importância sendo seu tipo e tamanho os principais fatores a serem considerados. Brito e Peixoto (2000), avaliando duas granulometrias de partículas de *Pinus taeda*, afirmam que, uma vez alterada a geometria ou granulometria das partículas, há a necessidade também de se averiguar outras variáveis do processo, sobretudo a melhor proporção de adesivo a ser empregada.

Para Vital *et al.* (1992), o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular, porém ocasiona redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática. Essas duas propriedades são melhoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas. Já Brumbaugh (1960) e Gatchell *et al.* (1966) constataram que as partículas longas e finas melhoraram a estabilidade dimensional dos painéis.

No processo industrial para produção de painéis aglomerados, são utilizadas partículas com maiores dimensões na camada interna e partículas menores ou finos nas camadas externas. A utilização de finos na superfície do aglomerado tem a finalidade de conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimentos (IWAKIRI *et al.*, 2005b).

Vital *et al.* (1992), em seus estudos sobre o efeito da geometria da partícula, constatou que não houve tratamento que melhorasse simultaneamente todas as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional dos painéis. No entanto, observou que, mantendo constantes as demais variáveis, o aumento da espessura das partículas resultou sempre na redução dos valores das propriedades relacionadas à flexão estática. O autor defende que as partículas mais finas distribuem melhor as tensões, além de produzirem menor quantidade de espaços vazios no interior dos painéis, produzindo painéis mais resistentes. Estabelece ainda que para se produzir painéis de partículas mais rígidas, resistentes à flexão e com maior estabilidade dimensional, é necessário empregar partículas mais finas. Para maior resistência à tração perpendicular, é necessário o uso de partículas mais espessas.

Matos (1988) evidenciou a importância da geometria das partículas no processo, mencionando que este fator

representa uma função particular, permitindo ou dificultando a transferência de calor através da espessura do painel submetido à prensagem.

#### 2.6.2.7 Ciclo de Prensagem

A operação de prensagem é uma etapa extremamente crítica na produção de aglomerados, sendo que nesta operação são definidas muitas das propriedades físicas, especialmente aquelas influenciadas pelo gradiente vertical de massa específica (KELLY, 1977).

Maloney (1989) definiu os fatores que afetam a prensagem de painéis aglomerados. Segundo o autor, o tipo de resina, os catalisadores, a temperatura de prensagem, o tempo de fechamento da prensa, o tempo de prensagem, a pressão aplicada, a umidade do colchão, entre outros, afetam a prensagem e interagem entre si, determinando as suas condições. Assim, torna-se difícil determinar a prensagem como um padrão global ou mesmo como uma equação geral. Os fatores citados devem ser considerados separadamente e devem ser feitas referências às maiores interações de madeira que se consiga as melhores condições de prensagem para o processo produtivo em questão.

##### a) Pressão

A aplicação de uma pressão mínima é necessária para a densificação do colchão até a espessura final do painel e também para assegurar um contato superficial adequada entre as partículas de madeira (KELLY, 1977; MOSLEMI, 1974).

Matos (1988) e Eleotério (2000), descreveram que o aumento da umidade do colchão proporciona redução da pressão específica necessária, uma vez que a umidade se vaporiza durante a prensagem a quente, tornando plásticas as fibras.



A pressão de prensagem, além de determinar a espessura e a massa específica final, ainda ajuda na transferência do calor responsável pela cura do adesivo, proporcionando a consolidação do painel (CALEGARI *et al.*, 2005). García *et al.* (2001) comentam que o calor plasticiza a madeira e polimeriza o adesivo, enquanto a pressão exercida pelos pratos da prensa junta as partículas aderindo-as. De modo geral, a pressão aplicada varia de 12 a 40 kgf/cm<sup>2</sup>. A pressão deve ser tal que permita um bom contato entre as partículas e a diminuição dos espaços vazios, em um tempo de fechamento da prensa adequado, de forma que se consiga uma boa colagem (HILLIG, 2000).

#### b) Temperatura

A principal função da temperatura da prensa na produção de painéis de partículas é a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas e a plasticização da madeira (MATOS, 1988). Além disso, Eleotério (2000) afirma que o ciclo de prensagem é uma das fases mais importantes da fabricação de painéis a base de madeira, pois determina a espessura e a massa específica final do painel e, ainda, transfere calor responsável pela cura da resina proporcionando a consolidação do painel.

Iwakiri (1989) encontrou referências de que quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de calor, permitindo melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática. Maloney (1989) complementa que uma maior temperatura de prensagem aumenta a massa específica do centro do painel enquanto diminui a massa específica das faces, formando um perfil de massa específica mais homogêneo. Este fato é devido a uma transferência de calor mais rápida para o centro do painel. Porém a temperatura de prensagem é definida em função do

tipo de resina utilizada (KELLY, 1977; MARRA, 1992; IWAKIRI, 2005a).

Chow e Zhao (1992) afirmam que a temperatura de prensagem afetou significativamente o módulo de ruptura na flexão estática, a adesão interna, a expansão linear, a absorção de água e o inchamento em espessura.

### c) Tempo

O tempo de prensagem é o tempo decorrido entre o momento da consolidação do colchão de partículas em sua espessura final, até o momento de abertura dos pratos da prensa (MATOS, 1988; IWAKIRI, 1989).

Ressalva-se que o tempo de prensagem deve ser o suficiente para que o excesso de água migre para fora do painel através de suas bordas laterais, antes da finalização da prensagem. Um painel com a parte central bem curada só irá delaminar na abertura da prensa se a pressão de vapor superar a ligação interna do painel (KELLY, 1977). Marra (1992) corrobora que o tempo de prensagem deve ser suficiente para que o interior do painel alcance a temperatura necessária para a polimerização da resina.

Tempos de prensagem mais curtos são desejáveis, pois proporcionam maior produtividade na indústria, além de reduzir o consumo de energia. Entretanto, a redução no tempo de prensagem pode acarretar uma redução nas propriedades de resistência dos painéis (MATOS, 1988).

Segundo Iwakiri (1989), o tempo mínimo de prensagem, depende principalmente da eficiência da transferência de calor, da espessura do painel, da temperatura de prensagem, assim como da distribuição da umidade no colchão de partículas.

## 2.7 ESTUDOS COM RESÍDUOS DE PROCESSAMENTO NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Segundo Weber (2011) algumas empresas que utilizam painéis de madeira como matéria-prima nos processos produtivos, principalmente as indústrias moveleiras e a de construção civil, podem destinar os resíduos desses painéis (aparas, retalhos ou painéis danificados) ao ecossistema ou à queima para geração energética, podendo causar impactos ambientais ao solo, aos recursos hídricos, à fauna, à flora e a atmosfera devido a composição química encontrada nos produtos, como resinas, parafina, extrativos da própria madeira, entre outras substâncias. Este material, ainda visto como resíduo, apresenta grande potencial como matéria-prima para produção de novo painéis.

Desta forma a mesma autora avaliando o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados, concluiu que os resíduos de painéis possuem potencial técnico para produção de painéis de madeira aglomerada, com vantagens econômicas e ambientais.

Dacosta (2004) estudando a qualidade dos painéis aglomerados confeccionados com resíduos de *Pinus elliotti* (Engelm.), resultantes do processamento mecânico da madeira constatou que usando as partículas do tipo maravalha, misturada com maiores percentagens de adesivo, e maiores massa específicas, obtém-se painéis com qualidade satisfatória.

Em estudo Pedrazzi (2005) teve como objetivo avaliar a qualidade de painéis aglomerados fabricados com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose e os resultados permitiram concluir que usando tanto partículas tipo palitos quanto serragem com maiores percentagens de adesivo e maiores massas específicas, podem ser produzidos painéis com qualidade satisfatória.

Iwakiri *et al.* (2000) pesquisou a viabilidade de utilização da madeira de *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* e *E. tereticornis*, na forma de resíduos de processamento em serrarias, para produção de painéis de madeira aglomerada e com base nas propriedades mecânicas, o *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* foram as espécies que apresentaram melhor comportamento para produção de painéis de madeira aglomerada.

Pierre (2010) avaliando as propriedades dos painéis de madeira aglomerada, fabricados industrialmente, utilizando madeira de *Eucalyptus grandis* e resíduos industriais madeireiros), obteve como resultados a indicação do uso desses resíduos em escala industrial na produção desses painéis.

Iwakiri *et al.* (2012b) averiguando a qualidade de painéis aglomerados produzidos com resíduos de processamento em serraria de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia, afirma que há viabilidade técnica de utilização das nove espécies provenientes de florestas tropicais da Amazônia.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada para a produção dos painéis foi composta por partículas e fibras de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, sem distinção entre as espécies nos materiais fornecidos pelas empresas.

As partículas foram provenientes do processo produtivo de painéis MDP da empresa Bonet Madeiras e Papéis Ltda, situada no município de Santa Cecília, Santa Catarina, sendo retiradas após o processo de cepilhamento das toras, ou seja, após a transformação das toras em partículas tipo *flake* (Figura 7). Segundo Pellens (2010), o cepilhador da empresa é formado por um correntão e uma esteira de alimentação que recebe a carga de toras e a leva para um compartimento dotado de um rolo com 36 facas e contra-facas. Desta forma, a tora é transformada em partículas com o movimento rotatório do rolo.

Figura 7- Máquina transformadora de toras em partículas (cepilhador).



Fonte: PELLENS, 2010.

Já as fibras foram retiradas do processo de produção de painéis MDF da Indústria de Compensados Sudati Ltda - unidade localizada em Otacílio Costa, Santa Catarina. Este material foi coletado após o processo de secagem e classificação (Figura 8), sendo selecionado o material com maior granulometria (fibras *oversize*) que é rotineiramente descartado do processo e enviado para queima na caldeira. Cabe salientar que as fibras já estavam com adesivo (12% psp) e emulsão de parafina (0,5% psp), tendo em vista que estes materiais são incorporados após o processo de desfibramento e antes do processo de secagem.

A classificação ocorre em um equipamento denominado *Stifter*, onde a fibra passa por desintegradores, posteriormente por dutos de ar separando as fibras que seguirão para o processo, de grumos de resina e de fibras superdimensionadas (*oversize*). As fibras com tamanho adequado são aspiradas por ventiladores enquanto o rejeito é descartado por meio de válvulas rotativas.

Figura 8- Secagem e classificação das fibras.



Fonte: SUDATI, 2014.

Como as partículas e fibras foram utilizadas na forma que eram encontradas nos processos, não houve um preparo adicional do material, sendo somente efetuada a secagem em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 80°C, até atingir teor de umidade de 4+/- 1%.

O adesivo utilizado na produção dos painéis foi composto pela resina uréia formaldeído (UF) e por emulsão de parafina. A resina foi fornecida pela Indústria de Compensados Sudati Ltda e a emulsão de parafina pela Isogama Indústria Química Ltda de São José dos Pinhais, Paraná.

A resina uréia formaldeído apresentava, conforme boletim técnico da empresa, teor de sólidos de 66%, gel time de 65s e viscosidade Brookfield de 255 cps. A emulsão de parafina apresentou 45% de teor de sólidos.

### 3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento envolveu a produção de painéis de madeira, misturando as partículas e as fibras coletadas nos processos de MDP e MDF. O delineamento está apresentado na Tabela 1, onde pode ser observado que foram utilizados painéis homogêneos e multicamadas com diferentes proporções de fibras / partículas e adesivo.

Tabela 1- Delineamento experimental.

<b>Tratamento</b>	<b>Composição</b>	<b>Material</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Adesivo (%)</b>
T1	Homogêneo	P / F	100 – 0	12
T2	Homogêneo	P / F	75 – 25	12
T3	Homogêneo	P / F	50 – 50	12
T4	Homogêneo	P / F	25 – 75	12
T5	Homogêneo	P / F	0 – 100	12

Continua...

Tabela 1- Continuação

<b>Tratamento</b>	<b>Composição</b>	<b>Material</b>	<b>Proporção (%)</b>	<b>Adesivo (%)</b>
T6	Homogêneo	P / F	100 – 0	8
T7	Homogêneo	P / F	75 – 25	8
T8	Homogêneo	P / F	50 – 50	8
T9	Homogêneo	P / F	25 – 75	8
T10	Homogêneo	P / F	0 – 100	8
T11	Multicamada	P / F / P	20 - 60 - 20	12
T12	Multicamada	F / P / F	20 - 60 - 20	12
T13	Multicamada	P / F / P	20 - 60 - 20	8
T14	Multicamada	F / P / F	20 - 60 - 20	8

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Foram produzidos 3 painéis por tratamento, totalizando 42 painéis com dimensões de 40 X 40 X 1,5 cm e massa específica nominal de 0,65 g/cm<sup>3</sup>. Além dos diferentes níveis de resina, foi aplicado 1% psp de emulsão de parafina para reduzir a higroscopicidade do material. Como variáveis de processo, utilizou-se na prensagem a frio 5 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão durante 10 minutos e ciclo de prensagem a quente de 160°C de temperatura, 40 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão específica por tempo de 8 minutos.

### 3.3 PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

#### 3.3.1 Cálculo dos componentes dos painéis

O cálculo foi iniciado com a determinação da massa (partículas/fibras + adesivo (resina +parafina)) a ser utilizada para a produção de cada painel de forma individual, sendo realizado por meio das Equações 1, 2 e 3, as quais foram



baseadas na dimensão e na massa específica de cada painel desejada.

$$D = M/V \quad \text{Equação (1)}$$

sendo:

$D$  = massa específica do painel a 12% de umidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M$  = massa de partículas/fibras a 12% de umidade (g)

$V$  = volume do painel ( $\text{cm}^3$ ), determinado a partir de:

$$V = E \times L \times C \quad \text{Equação (2)}$$

sendo:

$E$  = espessura do painel (cm)

$L$  = largura do painel (cm)

$C$  = comprimento do painel (cm).

Das fórmulas anteriores tem-se:

$$M = D \times V \quad \text{Equação (3)}$$

Com o cálculo da massa total, realizou-se os cálculos das massas de cada componente, os quais apresentavam proporções diferenciadas no painel:

- 100 partes de partículas/fibras a 0% de umidade;
  - 8 ou 12 partes de resina sólida;
  - 12 partes de umidade;
  - 1 parte de parafina.
- TOTAL = 121 ou 125 partes.

a) Cálculo da massa de partículas

Por meio da Equação 3, obteve-se a massa de partículas secas necessária para painéis estabilizados com 12% de umidade, após a prensagem. Como neste estudo os teores de umidade utilizados das partículas / fibras foram de aproximadamente 4%, houve a necessidade do ajuste para este teor de umidade (Equação 4 e 5).

$$M_{0\%} = M \times \frac{100}{121 \text{ ou } 125} \quad \text{Equação (4)}$$

sendo:

$M_{0\%}$  = massa de partículas a 0% de umidade (g)

A partir de  $M_{0\%}$  pode-se calcular a massa de partículas necessária para o teor de umidade desejado (4%).

$$M_{4\%} = \left( \frac{4\%}{100} + 1 \right) \times M_{0\%} \quad \text{Equação (5)}$$

sendo:

$M_{4\%}$  = massa de partículas a 4% de teor de umidade (g)

#### b) Resina e parafina

A quantidade de resina e de parafina foi calculada com base no teor de sólidos dos materiais, como pode ser observado nas Equações 6 a 9:

$$AS = M_{0\%} \times \frac{8 \text{ ou } 12\%}{121 \text{ ou } 125} \quad \text{Equação (6)}$$

sendo:

$AS$  = quantidade de resina na forma sólida (g)  
 8 ou 12% = porcentagem de resina aplicada na base peso seco das partículas

Como a resina utilizada estava na forma líquida, foi necessário fazer ajuste em função do teor de sólidos.

$$AL = AS \times \frac{100}{TSR} \quad \text{Equação (7)}$$

sendo:

$AL$  = peso de resina na forma líquida (g)  
 $AS$  = peso de resina na forma sólida (g)  
 $TSR$  = teor de sólidos contido na resina líquida (%).

E para emulsão de parafina, tem-se:

$$PS = M_{0\%} \times \frac{1}{100} \quad \text{Equação (8)}$$

sendo:

$PS$  = peso da parafina sólida (g)

A parafina utilizada estava na forma de emulsão, desta forma fez-se o ajuste em função do teor de sólidos.

$$PL = PS \times \frac{100}{TSP} \quad \text{Equação (9)}$$

sendo:

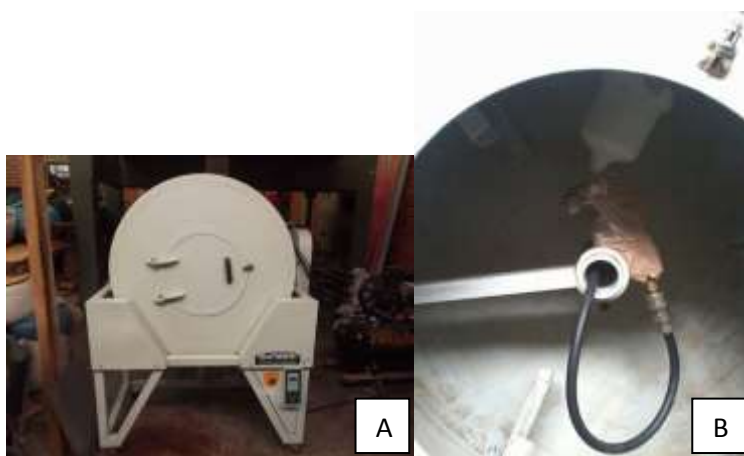
$PL$  = peso de emulsão de parafina (g).  
 $TSP$  = teor de sólidos contido na emulsão de parafina (%)

### 3.3.2 Aplicação de resina e parafina no material

Para a aplicação do adesivo (resina + emulsão de parafina) foi necessário a pesagem das matérias-primas nas quantidades pré-estabelecidas por meio do cálculo descrito anteriormente. A pesagem foi feita em uma balança analítica, com auxílio de bandejas e béqueres.

A aplicação do adesivo foi feita por meio de uma encoladeira (Figura 9) composta por um tambor que girava a uma rotação de 20 rpm, fazendo a movimentação das partículas/fibras. Na parte central do tambor havia uma pistola que pulverizava com auxílio de um compressor a emulsão de parafina e a resina no material de forma independente. O tempo de duração das aplicações era aproximadamente 5 minutos para a parafina e 12 minutos para a resina.

Figura 9- A) Tambor rotatório utilizado na mistura das partículas/fibras; B) Pistola utilizada para aspersão de resina/parafina e copo acoplado na mesma onde são depositados o material colante e impermeabilizante.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

### 3.3.3 Formação do colchão e prensagem dos painéis

A formação do colchão foi feita em uma caixa vazada que era posicionada sobre uma chapa de aluzinco, na qual era depositada a quantidade pré-determinada de material (fibras/partículas + adesivo + parafina), conforme apresentado na Figura 10.

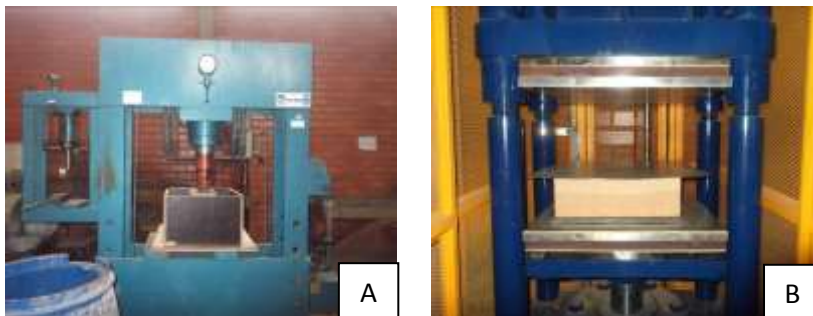
Figura 10- Formação do colchão.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Após a formação do colchão, a caixa contendo o material era levada para a prensagem a frio para que houvesse uma melhor acomodação das fibras / partículas e a redução da altura do colchão (Figura 11). Após esta etapa, a caixa era retirada do colchão e colocada uma chapa de aluzinco na parte superior do mesmo para evitar o contato direto com os pratos da prensa. Para o controle da espessura do painel, foram colocadas 4 barras de ferro com espessura de 15 mm nas laterais do colchão.

Figura 11- Prensagem dos painéis. A) Prensa hidráulica utilizada na prensagem a frio; B) Colchão com a colocação da chapa de aluzinco e das barras de controle de espessura.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Para a realização da prensagem a quente, utilizou-se uma prensa hidráulica MARCONI, modelo ma - 098/110 FAEPE, com capacidade de 80 toneladas (Figura 12). O tempo total de operação era de 9:20 minutos, sendo 40 segundos para fechamento do prato da prensa, 8 minutos de prensagem e 40 segundos de abertura total do equipamento.

Figura 12- Prensa a quente. A) Prensa e painel de operação; B) Detalhe do colchão na prensa.



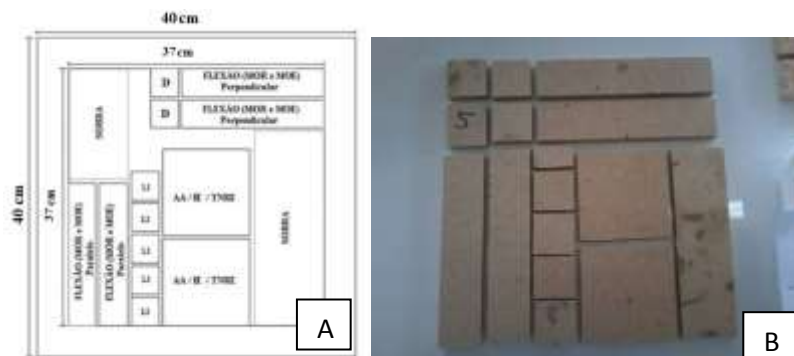
Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Após a retirada da prensa, os painéis foram colocados em uma sala de climatização com temperatura constante de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 3\%$ , onde permaneceram até atingirem massa constante. Neste momento, os painéis foram esquadrejados para dimensão nominal de 37 X 37 cm com a finalidade de evitar a influência da borda nas propriedades dos painéis, sendo cortados posteriormente em corpos de prova que foram utilizados nos ensaios físicos e mecânicos.

### 3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

O *layout* para a retirada dos corpos de prova dos painéis foi adaptado de Mendes (2001), o qual está apresentado na Figura 13. As dimensões dos corpos de prova foram determinadas segundo as normas ASTM D-1037 (1993) e DIN 52362 (1982).

Figura 13- Confeccção dos corpos de prova. A) Layout; B) Corpos de prova.



Fonte: A) Adaptado de Mendes, 2001; B) Produção do próprio autor, 2014.

Após a obtenção dos corpos de prova na marcenaria do Senai – Unidade de Lages, o material retornou à sala de

climatização para posteriormente serem realizados os ensaios tecnológicos.

### 3.5 ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Os ensaios tecnológicos realizados com o intuito de verificar a potencialidade de produção dos painéis foram:

- Massa específica, absorção de água, inchamento em espessura, taxa de não retorno em espessura (TNRE) (propriedades físicas) e ligação interna (propriedade mecânica): de acordo com a norma ASTM D1037 (1993).
- Flexão estática (propriedade mecânica): de acordo com a norma DIN 52362 (1982).
- Arrancamento de parafuso de superfície e de topo: segundo a NBR 14810 (2006).

#### 3.5.1 Ensaios físicos

##### 3.5.1.1 Massa específica

A massa específica foi obtida em 2 corpos de prova por painel, totalizando 6 por tratamento. A determinação da variável foi realizada no momento em que os corpos de prova estabilizaram em massa na câmara de climatização. O procedimento de obtenção da massa específica foi desenvolvido por meio da pesagem e medição das dimensões dos corpos de prova nas duas larguras e na espessura com auxílio de uma balança analítica e de um paquímetro, respectivamente. Após a obtenção da massa e do volume dos corpos de prova, aplicou a Equação 10 para a determinação da variável.

$$ME = \frac{M}{V} \qquad \text{Equação (10)}$$



sendo:

$ME$  = massa específica do painel ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M$  = massa do painel ( $\text{g}$ )

$V$  = volume do painel ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.5.1.2 Teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade, foram utilizados os mesmos corpos de prova da massa específica, aproveitando também a pesagem realizada na etapa anterior. Na sequência, os corpos de prova foram colocados em uma estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até atingirem massa constante, ou seja, 0% de umidade. Como a determinação da massa foi realizada com os corpos de prova frios, foi necessário o armazenamento do material em dessecadores, de forma a proporcionar o resfriamento e ao mesmo tempo a não absorção de umidade do ambiente. De posse das duas pesagens, efetuou-se o cálculo do teor de umidade pela Equação 11.

$$Um = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (11)}$$

sendo:

$Um$  = Teor de umidade em porcentagem;

$M_u$  = Massa úmida em g;

$M_s$  = Massa seca em g.

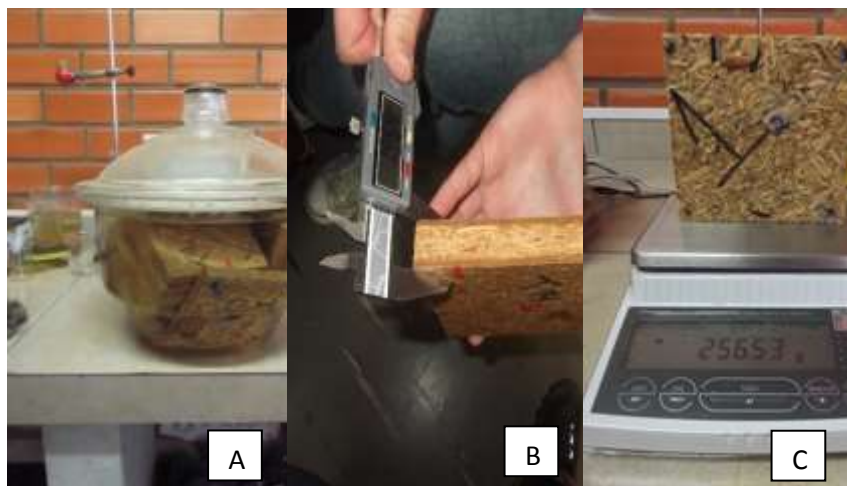
### 3.5.1.3 Absorção de água, inchamento em espessura e TNRE

A determinação das 3 variáveis foram realizadas nos mesmos corpos de prova, sendo 2 por painel e, consequentemente, 6 por tratamento. Inicialmente, na condição

de massa constante na câmara de climatização, foram marcados 4 pontos nas extremidades dos corpos de prova, os quais estavam posicionados a 1 cm de cada vértice. Assim, nestes pontos foram tomadas as dimensões de espessura, com auxílio de um paquímetro, sendo que, ao mesmo tempo, era efetivada a determinação da massa por meio de uma balança analítica.

Os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água (Figura 14A), ficando submersos por um período de 2 horas, sendo repetidas as medições em espessura (Figura 14B) e a pesagem do material (Figura 14C). Posteriormente, os corpos de prova retornaram ao recipiente com água, onde ficaram imersos por mais 22 horas.

Figura 14- Realização dos ensaios físicos Absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura. A) Corpos de prova saturando em água. B) Medição dos corpos de prova. C) Pesagem dos corpos de prova.



Finalizando o processo de determinação da estabilidade dimensional dos painéis, os corpos de prova foram novamente armazenados na câmara de climatização, sob temperatura e umidade relativa constantes até atingirem massa constante. O cálculo da absorção de água, inchamento em espessura e taxa de não retorno em espessura foram realizados através das Equações de número 12 a 14.

a) Absorção de água

$$Ab_{\%} = \frac{P_{2h \text{ ou } 24h} - P_{0h}}{P_{0h}} \times 100 \quad \text{Equação (12)}$$

sendo:

$Ab_{\%}$  = Absorção de água em porcentagem;

$P_{2h \text{ ou } 24h}$  = Peso em gramas às 2 horas ou as 24 horas;

$P_{0h}$  = Peso em gramas à 0 horas.

b) Inchamento em espessura

$$IE_{\%} = \frac{E_{2h \text{ ou } 24h} - E_{0h}}{E_{0h}} \times 100 \quad \text{Equação (13)}$$

sendo,

$IE_{\%}$  = Inchamento em espessura em porcentagem;

$E_{2h \text{ ou } 24h}$  = Espessura em milímetros às 2 horas ou 24 horas;

$E_{0h}$  = Espessura em milímetros à 0 horas.

c) Taxa de Não Retorno em Espessura (TNRE)

$$TNRE_{\%} = \frac{E_{est.} - E_{0h}}{E_{0h}} \times 100 \quad \text{Equação (14)}$$

sendo,

$NRE_{\%}$  = Taxa de não retorno em espessura em porcentagem;

$E_{0h}$  = Espessura em milímetros as 0 horas;

$E_{est.}$  = Espessura em milímetros depois do peso estabilizado em horas.

### 3.5.2 Ensaios mecânicos

Todos os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina universal de ensaios da marca EMIC, modelo DL – 30000 que está instalada na sala de climatização do Laboratório de Propriedades Físicas e Mecânicas da Madeira do CAV/UDESC.

#### 3.5.2.1 Flexão Estática

O ensaio de flexão estática foi realizado em 4 corpos de prova por painel, totalizando 12 corpos de prova por tratamento e 168 corpos de prova na análise. Os corpos de prova foram medidos em sua espessura e largura no ponto central do seu comprimento, sendo lançados os dados no programa Tesc do equipamento.

Neste ensaio, o vão (distância entre os pontos de apoio) era de 200 mm e a velocidade de aplicação da carga era de 5 mm/min. O programa Tesc registrava a carga e a deformação ao longo de ensaio até o momento da ruptura do corpo de prova. De posse destes dados, foram calculados os valores de resistência (Módulo de Ruptura – MOR) e rigidez (Módulo de Elasticidade – MOE) à flexão estática por meio das Equações 15 e 16.

$$MOE = \frac{1}{4} \times \frac{P_{lp} \times L^3}{d_{lp} \times b \times h} \quad \text{Equação (15)}$$

sendo,

$MOE$  = Módulo de elasticidade à flexão estática em MPa

$P_{lp}$  = Carga Aplicada no limite proporcional em N;

$L^3$  = Distancia entre o apoio e o ponto de aplicação da carga em mm;

$d_{lp}$  = Deformação no limite proporcional em mm;

$b$  = Base em mm;

$h$  = Altura em mm.

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{P_{max} \times L}{b \times h^2} \quad \text{Equação (16)}$$

Onde,

$MOR$  = Módulo de Ruptura em MPa;

$P_{max}$  = Carga Máxima expressa em N;

$L$  = Distancia entre o apoio e o ponto de aplicação da carga em mm;

$b$  = Base em mm;

$h^2$  = Altura em mm.

### 3.5.2.2 Tração perpendicular

Para a realização da resistência dos painéis aglomerado a tração perpendicular (ligação interna), os corpos de prova foram medidos na sua área de seção transversal e colados com cola PVA (polivinil acetato) em superfícies sólidas e planas de madeira com dimensões aproximadas de 7 X 7 cm, as quais foram presas nas garras que aplicavam força de tração a uma velocidade de 4 mm/min até o momento da ruptura.

A Equação 17 apresenta a fórmula utilizada para o cálculo da tração perpendicular.

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{S} \quad \text{Equação (17)}$$

Onde,

$\sigma_{max}$  = Tensão máxima em MPa;

$P_{max}$  = Força máxima em N;

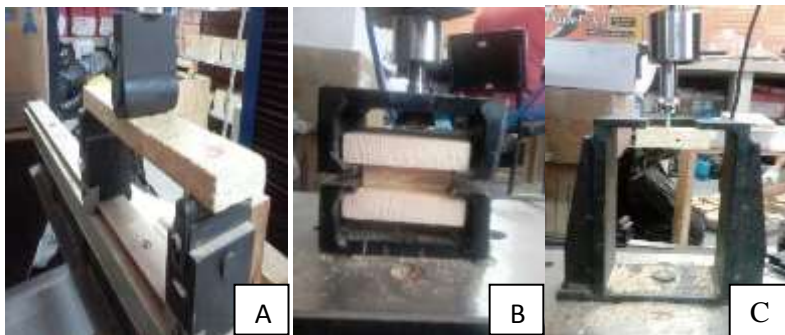
$S$  = área em mm<sup>2</sup>.

### 3.5.2.3 Arrancamento de parafuso

Para a obtenção da resistência que os painéis possuíam ao arrancamento de um parafuso de sua estrutura, os corpos de prova foram perfurados com uma broca de 2,8 mm acoplada a uma furadeira, onde o orifício produzido era de 17mm para introduzir um parafuso com dimensões de 38,0 mm de comprimento, 4,2 mm de diâmetro e 1,4 mm de passo. Os parafusos foram inseridos na superfície e no topo de cada corpo de prova.

A variável de interesse neste ensaio era a carga necessária para realizar o arrancamento do parafuso dos corpos de prova nos dois sentidos supracitados, a uma velocidade de 15 mm/min.

Figura 15- Ensaios das propriedades mecânicas. A) Flexão estática. B) Ligação interna. C) Arrancamento de parafuso superficial.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

### 3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O modelo experimental utilizado para a análise dos painéis aglomerados foi o delineamento inteiramente casualizado com arranjo fatorial, considerando como fatores as características de composição (com sete níveis: 100% partículas:0% fibras, 75%:25%, 50%:50%, 25%:75%, 0%:100%, 20% partículas:60% fibras: 20% partículas, 20% fibras:60% partículas:20% fibras) e adesivo (com dois níveis: 8% e 12%), resultando em 14 tratamentos. Adotaram-se três repetições por tratamento, número considerado adequado para um produto industrial.

Inicialmente os dados foram submetidos a análises preliminares, nas quais foram verificados os pressupostos para utilização da estatística paramétrica. Assim, os dados foram testados quanto à presença de *outliers*, normalidade da distribuição e homogeneidade de variâncias. O primeiro teste foi realizado por meio de análise gráfica (*boxplot*) e descritiva dos dados; o segundo pelo teste de Shapiro-Wilk, porém quando o número de corpos de prova foram superiores a 20,

optou-se pelo Kolmogorov-Smirnov; e por fim, as variâncias foram avaliadas por meio do teste de Levene.

Para contornar o problema de dados que não obedeceram aos pressupostos da normalidade dos dados e da homogeneidade das variâncias foi realizada a transformação Box-Cox. Desta forma, os dados de todas as variáveis se tornaram aptos para a realização da análise estatística dos resultados.

Os resultados foram avaliados por meio de análises fatoriais (*two-way* ANOVA) para verificar a influência de cada fator na variável de interesse (cada uma das propriedades físicas e mecânicas dos painéis) e da interação entre os fatores, ou seja, se um fator influencia o outro e vice-versa. Quando detectada influência estatisticamente significativa, utilizou-se de teste de comparação múltipla com Scott-Knott a 95% de probabilidade, para identificar onde se encontravam as diferenças entre os níveis dos fatores.

Todos os resultados foram comparados com a literatura disponível e com as normas de qualidade nacional (NBR 14810, 2013) e internacionais (ANSI A208.1, 2009; CS 236-66, 1968 e EN 312-2, 2003).



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PROPRIEDADES FÍSICAS

Na Tabela 2 estão apresentados os valores da análise fatorial para as propriedades físicas dos painéis. O valor utilizado para comprovar a significância dos dados foi de 95%, dessa forma, valores abaixo de 0,05 apresentaram efeito significativo para cada variável estudada, bem como para a interação entre elas.

Tabela 2- Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios físicos nos painéis.

Propriedade	Fator		
	Composição (C)	Adesivo (A)	Interação C*A
Massa específica	0,818	0,000	0,765
Razão de compactação	0,420	0,000	0,259
Teor de umidade	0,000	0,000	0,000
Absorção de água			
após 2 horas	0,000	0,000	0,000
após 24 horas	0,000	0,000	0,000
Inchamento em espessura			
após 2 horas	0,000	0,000	0,000
após 24 horas	0,000	0,000	0,000
TNRE	0,000	0,000	0,000

Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Observa-se que entre todos os ensaios físicos realizados, somente a massa específica e consequentemente a razão de compactação não foram influenciados pelo fator composição e pela interação entre os dois fatores estudados. Ao longo da discussão dos resultados, serão abordadas cada propriedade física isoladamente, de forma a determinar as possíveis causas e consequências do efeito da composição e quantidade de adesivo na qualidade dos painéis aglomerados.

#### 4.1.1 Massa específica

Na Tabela 3 estão apresentadas as médias obtidas para massa específica de todos os tratamentos, bem como seus respectivos coeficientes de variação. Observa-se que as médias variaram de 0,580 g/cm<sup>3</sup> (T10) com 8% de resina a 0,623 g/cm<sup>3</sup> (T12) com 12% de resina, o que não corrobora com a meta delineada no projeto que era de 0,65 g/cm<sup>3</sup>.

Tabela 3- Valores médios de massa específica dos painéis.

Composição	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 0,606 <sub>3,59</sub> Aa	T <sup>6</sup> 0,602 <sub>5,37</sub> Ba
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 0,608 <sub>6,30</sub> Aa	T <sup>7</sup> 0,586 <sub>4,77</sub> Aa
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 0,619 <sub>3,02</sub> Aa	T <sup>8</sup> 0,586 <sub>2,81</sub> Ba
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 0,608 <sub>3,99</sub> Aa	T <sup>9</sup> 0,582 <sub>4,04</sub> Aa
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 0,614 <sub>2,62</sub> Aa	T <sup>10</sup> 0,580 <sub>3,24</sub> Aa
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 0,610 <sub>3,84</sub> Aa	T <sup>13</sup> 0,584 <sub>3,38</sub> Ba
		Continua...

Tabela 3- Continuação

Composição	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	
	12% resina	8% resina
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	<sup>T12</sup> 0,623 <sub>2,91</sub> Aa	<sup>T14</sup> 0,593 <sub>3,50</sub> Ba
Média	0,613	0,588

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo Teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Outros autores também encontraram valores de massa específica inferiores ao desejado como: Iwakiri *et al.* (2008), que produzindo painéis aglomerados de *Pinus spp* com massas específicas de 0,60 g/cm<sup>3</sup>; 0,70 g/cm<sup>3</sup>; 0,80 g/cm<sup>3</sup> e 0,90 g/cm<sup>3</sup>, obtiveram 0,57 g/cm<sup>3</sup>; 0,64 g/cm<sup>3</sup>; 0,70 g/cm<sup>3</sup> e 0,78 g/cm<sup>3</sup>. Iwakiri *et al.* (2001) utilizando cinco espécies de pinus tropicais na produção de painéis aglomerados encontraram valores de massa específica no intervalo de 0,65 g/cm<sup>3</sup> a 0,69 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, inferior e meta de 0,70 g/cm<sup>3</sup>. Trianoski *et al.* (2011b) com *Pinus taeda*, determinaram como meta 0,75 g/cm<sup>3</sup> e obtiveram 0,68 g/cm<sup>3</sup> e Trianoski *et al.* (2013) não atingiram os valores pré-determinados para a massa específica dos painéis (0,80 g/cm<sup>3</sup>), tendo em vista que o intervalo encontrado para a propriedade ficou entre 0,77 g/cm<sup>3</sup> a 0,80 g/cm<sup>3</sup>. Grubert (2014) com a utilização de feixes de fibras *oversize*, encontrou massa específica de 0,57 g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a meta era de 0,65 g/cm<sup>3</sup>.

Iwakiri *et al.* (2012c) citam que a diferença entre massa específica obtida em relação a massa específica nominal podem ser atribuídas às condições operacionais em nível laboratorial, sem a automação e controle de precisão do processo industrial,

ocasionando perdas de material durante o processo de manufatura dos painéis.

Eleotério (2000) afirma que um dos fatores que pode contribuir no espalhamento das fibras e partículas durante a prensagem é a dispersão da massa para uma área maior que a planejada para o painel. O mesmo autor complementa que outro fator determinante desse desvio pode estar relacionado ao inchamento do painel em alguns décimos de milímetros após o alívio da pressão.

Desta forma, tomando-se como referência a NBR 14810 (2013), os painéis de todos os tratamentos foram considerados como de média massa específica, em função de estarem dentro do intervalo de 0,551 a 0,750 g/cm<sup>3</sup>. Porém, em relação à CS 236-66 (1968), somente os painéis produzidos com 12% de resina e os pertencentes ao tratamento 6 com 100% de partículas e 8% de resina podem ser classificados como de média massa específica, em função do intervalo proposto pela norma que ser de 0,600 a 0,800 g/cm<sup>3</sup>. Ainda, segundo especificações da ANSI A208.1 (2009), nenhum tratamento se enquadrou como de média massa específica, pois não alcançaram o mínimo determinado pela norma que é de 0,640 g/cm<sup>3</sup>.

Para a variável resina, observa-se que houve diferença estatística em quatro composições, sendo os tratamentos compostos pela porcentagem de partículas de: 100% (T1 e T6), 50% (T3 e T8), 40% (P-F-P, T11 e T13) e 60% (F-P-F, T12 e T14). A diferença estatística encontrada para massa específica entre os tratamentos T1 e T6 pode ser atribuída a maior disponibilidade de resina por área superficial de partículas, proporcionando dessa maneira uma melhoria na ligação entre elas. Diferentemente do encontrado por Bianche *et al.* (2012), em que os autores afirmaram que a quantidade de adesivo utilizada na produção dos painéis não influenciou na massa específica.

Cabe salientar que somente nos dois tratamentos mencionados (T1 e T6), não havia aplicação de resina preliminarmente, tendo em vista que foram retiradas partículas de processo após a passagem das toras pelo cepilhador, enquanto que nos demais tratamentos, havia resina e emulsão de parafina em função do material ser retirado durante a classificação das fibras, momentos antes da formação do colchão dos painéis MDF. Desta forma, a diferença encontrada entre os outros tratamentos não é clara porque não houve um incremento linear entre o aumento da resina e a massa específica dos painéis como observado entre os tratamentos T2 e T7, T5 e T10 que apresentaram alta e baixa quantidade de partículas, ou seja, baixa e alta quantidade de resina.

Santos *et al.* (2009) estudando painéis aglomerados fabricados com misturas de *Pinus*, Eucalipto e Candeia, em duas porcentagens de resina (8 e 12%) não obtiveram diferença estatística quando analisaram os teores de adesivo. Pereira (2014) também não obteve diferença estatística utilizando *Pinus patula* e *Pinus sp.* na fabricação de painéis aglomerados com quatro teores de resina ureia formaldeído (6, 8, 10 e 12 %).

Avaliando a composição dos painéis (partículas e fibras), observa-se que não houve diferença estatística entre e dentro dos tratamentos homogêneos e multicamadas, no entanto a média encontrada das composições com 12% de adesivo ( $0,613 \text{ g/cm}^3$ ) foi superior as composições com 8% ( $0,588 \text{ g/cm}^3$ ).

Da mesma forma que Weber (2011) utilizando resíduos de MDP, MDF e compensado na fabricação de painéis aglomerados com diferentes teores de resina, obteve valores estatisticamente iguais, determinando que as misturas de partículas não interferiram significativamente nesta propriedade. Gorski (2014), também não obteve diferença estatística fabricando painéis particulados quando analisou a massa específica entre as diferentes composições dos painéis.

Fato semelhante foi encontrado por Mendes (2001) em estudos com painéis particulados utilizando 6 espécies do gênero *Pinus* sp.

#### 4.1.2 Espessura

Os valores médios encontrados para espessura dos painéis, Tabela 4, variaram de 15,53 mm a 16,75 mm nos tratamentos caracterizados por 0% de partículas e 12% de resina, e 100% de partículas e 8% de resina, respectivamente. Numericamente, destacam-se os painéis dos tratamentos T5 e T10, ambos compostos por 100% de fibras, ou seja, material que já possuía resina e emulsão de parafina em sua estrutura, o que limita a presença espaços vazios. Moslemi (1974) complementa ainda que partículas finas, pequenas e flexíveis geram superfícies livres de vazios. Outro ponto que pode ser destacado nos painéis homogêneos é a diminuição da espessura à medida que era aumentada a quantidade de fibras nos painéis, 0%, 25%, 50%, 75% e 100%.

Tabela 4- Valores médios de espessura dos painéis.

Composição	Espessura (mm)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 16,42 <sub>1,09</sub> Af	T <sub>6</sub> 16,75 <sub>0,34</sub> Ad
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 16,12 <sub>0,21</sub> Ad	T <sub>7</sub> 16,18 <sub>0,43</sub> Bc
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 15,96 <sub>0,46</sub> Ac	T <sub>8</sub> 16,13 <sub>0,68</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 15,67 <sub>1,10</sub> Ab	T <sub>9</sub> 16,05 <sub>0,73</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 15,53 <sub>0,52</sub> Aa	T <sub>10</sub> 15,66 <sub>0,17</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 16,24 <sub>0,47</sub> Ae	T <sub>13</sub> 16,12 <sub>0,52</sub> Ab
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 16,26 <sub>0,70</sub> Ae	T <sub>14</sub> 16,23 <sub>0,73</sub> Ac
Média	16,03	16,16

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na

linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 6 que, mesmo o intervalo de variação dos valores de espessura ser de apenas 1,22 mm, os mesmos ficaram acima da dimensão dos espaçadores “stops” colocados na prensa que era de aproximadamente 15,5 mm. Mendes (2010) cita que este aumento da espessura dos painéis pode ser resultado da liberação parcial das tensões de compressão, porém, ocorrida logo após o final da prensagem na fase de produção do painel.

Mendes (2010) cita ainda que quanto maior a altura do colchão a ser comprimido para uma mesma espessura final, maiores serão as tensões de compressão às quais o painel estará sujeito durante a operação de prensagem. Da mesma forma como observada no presente estudo, pois os painéis com fibras apresentando as maiores alturas de colchão, tratamentos T5 e T10, foram os que apresentaram menores espessuras depois da etapa de prensagem. Este fato é explicado pela presença da alta quantidade de resina, que foi proporcionada pela porcentagem aplicada na empresa e posteriormente reaplicada no laboratório, o que restringe o espalhamento das fibras além dos espaçadores e a liberação das tensões depois da prensagem.

Em relação à influência da porcentagem de resina (8% para 12%) no aumento em espessura dos painéis, verifica-se que não houve diferença estatística somente nos painéis homogêneos do tratamento T1 e T6. Acredita-se que o aumento da quantidade de resina dentro de uma mesma composição de partículas/fibras tende a limitar o aumento em espessura depois da retirada da pressão na prensa e durante a climatização, no entanto, nos tratamentos homogêneos T1 e T6, esta condição não foi verificada.

Para os tratamentos compostos por painéis multicamadas, a ausência da diferença estatística entre T11 e

T13 pode ser atribuída a maior densificação das camadas da superfície que eram formadas por partículas e, ao mesmo tempo pela presença de fibras com grande quantidade de resina na camada central; já para os painéis dos tratamentos T12 e T14, a grande quantidade de fibras encontrada nas camadas externas dos painéis, e consequentemente resina, serviram como limitadores para o inchamento em espessura, proporcionando desta forma uma equivalência nos resultados.

Considerando a variável composição, observa-se que houve diferença estatística para espessura entre as 7 composições analisadas, independentemente da quantidade de resina aplicada, sendo que os tratamentos T5 e T10, foram aqueles que apresentaram melhores resultados para 12% e 8% de resina, respectivamente. As médias encontradas foram de 16,03 mm para as composições com 12% de resina e 16,16% para as composições com 8% de resina.

Gorski (2014) em seu trabalho com painel reconstituído, não obteve diferença estatística em relação a espessura das diferentes proporções de camada, com valor médio de 17,3 mm. Da mesma maneira que Haselein (2002), que obteve espessuras estatisticamente iguais em sua pesquisa com partículas de *Pinus elliottii* em variadas dimensões para a produção de painel aglomerado com média de 10,40 mm.

#### **4.1.3 Teor de umidade**

Conforme apresentado na Tabela 5, observa-se que os valores do teor de umidade variaram de 8,29% para 10,03% nos tratamentos T5 com 12% de resina e T6 com 8% de resina, respectivamente. A baixa variabilidade dos valores observada entre e dentro (coeficiente de variação) dos tratamentos, proporciona segundo Melo *et al.* (2009), uma maior confiabilidade nos resultados. Para os autores, a umidade pode interferir significativamente nas propriedades.



Observa-se também que os teores de umidade dos painéis de todos os tratamentos ficaram de dentro do intervalo estabelecido pela NBR 14810 (2013), que é de 5 a 11%. Destaca-se também que todos os tratamentos se enquadraram na norma ANSI A208.1 (2009) que estabelece 10% de teor de umidade máximo.

Tabela 5- Valores médios de teor de umidade dos painéis.

Composição	Teor de umidade (%)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 9,66 <sub>2,10</sub> Ad	T <sub>6</sub> 10,03 <sub>2,24</sub> Bc
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 9,55 <sub>2,26</sub> Ad	T <sub>7</sub> 9,53 <sub>0,99</sub> Ab
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 9,21 <sub>2,29</sub> Ab	T <sub>8</sub> 9,41 <sub>1,03</sub> Ab
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 8,93 <sub>0,46</sub> Ab	T <sub>9</sub> 9,18 <sub>2,84</sub> Ab
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 8,29 <sub>1,91</sub> Aa	T <sub>10</sub> 8,74 <sub>4,00</sub> Aa
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 9,24 <sub>1,01</sub> Ac	T <sub>13</sub> 9,30 <sub>1,87</sub> Ab
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 9,34 <sub>2,27</sub> Ac	T <sub>14</sub> 9,59 <sub>1,93</sub> Ab
Média	9,17	9,40

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Por meio dos valores de teor de umidade apresentados na Tabela 7, é possível verificar que todos os painéis ficaram abaixo da umidade de equilíbrio da sala de climatização que é de 12%, tendo em vista que são mantidas constantes as variáveis de temperatura (20+/-2°C) e umidade relativa (65+/-3%). Ao mesmo tempo, observa-se que o teor de umidade dos painéis homogêneos após a estabilização do peso, diminuiu de forma gradativa à medida que era incorporado fibras no

colchão. Já para os multicamadas, os menores teores de umidade foram encontrados na composição 40 partes de partículas e 60 partes de fibra.

A justificativa para a redução da higroscopicidade dos painéis está em função da redução da madeira em partículas / fibras e a posterior incorporação de resina, parafina e outros aditivos (WU, 1999), e principalmente, às altas temperaturas aplicadas durante a etapa de prensagem, que fazem com que a pressão compacte as camadas externas do painel, tornando os sítios de adsorção menos disponíveis (DEL MENEZZI, 2004). Weber (2011) complementa ainda que os processos de secagem e prensagem a altas temperaturas causam danos as estruturas anatômica da madeira, causando perda de água de constituição.

Em relação à quantificação da redução da higroscopicidade dos painéis, a prensagem a quente promove uma redução de 7% a 27% (TRIANOSKI, 2010). No presente estudo, a redução do teor de umidade foi superior a este intervalo para os tratamentos com 100% de fibras, T5 e T10, que tiveram reduções de 30,92% e 27,17%, respectivamente, porém dentro do limite para os demais tratamentos.

Dacosta (2004) cita que outros fatores que podem ter influenciado no teor de umidade do colchão, e consequentemente no teor de umidade dos painéis, foram a quantidade do produto aplicado (resina, parafina e água) que é perdido por ficar aderido aos instrumentos (pistola, mangueira e tambor do misturador); a quantidade de partículas finas presentes ou geradas durante o processo de mistura, as quais consomem boa parte dos produtos citados; a umidade das partículas, que sofrem uma rápida influência da umidade relativa do ambiente, mesmo secas em estufa, antes de iniciar a elaboração das chapas.

Weber (2011) utilizando resíduos de painéis MDF, MDP e compensando para a produção de painéis aglomerados também atingiu valores abaixo de 12%, onde os mesmos variaram de 7,34 a 8,96%. Trianoski (2010) utilizando

espécies alternativas e *Pinus taeda* como testemunha, para a produção de painéis aglomerados obteve valores que variaram para painéis homogêneos de 9,39 a 10,22% e para painéis multicamadas de 9,65 a 10,29%, com destaque para o painel de *Pinus taeda* com 10,22%.

Analisando a variável adesivo de forma isolada, observa-se que houve diferença estatística apenas na composição formada por 100% de partículas (T1 e T6). Sendo assim, evidencia-se que o aumento no teor de resina de 8% para 12% só teve influência no teor de umidade da composição onde os painéis só tinham resina e emulsão de parafina aplicados no laboratório, enquanto que nos demais tratamentos, o aumento da porcentagem de resina não influenciou na porcentagem de água absorvida após a climatização.

Dacosta (2004) com o objetivo de avaliar a qualidade dos painéis aglomerados produzidos com resíduos de *Pinus elliottii*, resultantes do processamento mecânico da madeira, observou que, geralmente, o teor de umidade dos painéis diminui com o aumento do teor de resina. A autora complementa que em seu trabalho o teor de umidade dos painéis fabricados com serragem e teor de adesivo de 4 e 8 % foram maiores que o teor de umidade dos outros painéis. Já Weber (2011) comparando os tratamentos produzidos com resíduos puros e as proporções de resina (6 e 10%), observou que as médias igualaram-se estatisticamente entre os painéis produzidos com os mesmos resíduos.

Quanto à influência do fator composição do colchão no teor de umidade, verifica-se que houve diferença estatística em ambos os teores de resina, sendo as composições formadas por 100% de fibras as que tiveram as maiores reduções de umidade quando comparado com a umidade de equilíbrio da sala de climatização (12%). Acrescenta-se ainda que a umidade de equilíbrio aumentou com o acréscimo da proporção de partículas na composição em virtude da maior disponibilidade

de espaços vazios na estrutura e na menor acomodação das partículas no colchão em relação às fibras.

Dacosta (2004) ajustando um modelo de regressão linear que inclui o material serragem e o teor de adesivo, afirmou que a medida que aumenta a proporção de serragem, e diminui o teor de adesivo, o teor de umidade de equilíbrio aumenta. Sanches (2012) utilizando pinus, eucalipto, bracatinga e uva-do-japão, para a produção de painéis aglomerados também obteve diferença na umidade de equilíbrio dos painéis conforme mudança nas composições dos mesmos.

Segundo Weber (2011), um dos motivos para a mudança de teor de umidade de equilíbrio dos painéis relacionados com a composição dos mesmos, é que as misturas de partículas de resíduos interferem no teor de umidade dos painéis de forma diferenciada. Além disso, o tamanho das partículas e suas associações em misturas podem ser significativos para esta propriedade.

#### **4.1.4 Absorção de água**

Os valores médios de todos os tratamentos para absorção de água (AA) das diferentes composições de colchão foram de 18,03% e 31,61% após 2 horas de imersão e 45,88% e 67,17% após 24 horas, sendo para 12% e 8% de resina, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6- Valores médios da absorção de água a 2 horas e a 24 horas dos painéis.

Composição	Absorção 2h	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 40,41 <sub>4,69</sub> Af	T <sub>6</sub> 82,39 <sub>15,27</sub> Be
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 29,49 <sub>13,63</sub> Ae	T <sub>7</sub> 41,06 <sub>10,10</sub> Bd
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 10,88 <sub>16,56</sub> Ac	T <sub>8</sub> 12,65 <sub>13,19</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 7,19 <sub>10,12</sub> Ab	T <sub>9</sub> 11,70 <sub>8,85</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 5,45 <sub>8,92</sub> Aa	T <sub>10</sub> 7,45 <sub>6,73</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 18,33 <sub>5,01</sub> Ad	T <sub>13</sub> 41,28 <sub>9,94</sub> Bd
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 14,47 <sub>11,93</sub> Ad	T <sub>14</sub> 24,72 <sub>17,42</sub> Bc
Média	18,03	31,61

Composição	Absorção 24h	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 88,41 <sub>6,94</sub> Ae	T <sub>6</sub> 103,98 <sub>1,72</sub> Bd
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 44,09 <sub>4,00</sub> Ac	T <sub>7</sub> 77,29 <sub>8,60</sub> Bc
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 36,10 <sub>13,69</sub> Ab	T <sub>8</sub> 54,04 <sub>5,20</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 28,04 <sub>5,90</sub> Aa	T <sub>9</sub> 34,73 <sub>4,59</sub> Ba
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 24,34 <sub>15,57</sub> Aa	T <sub>10</sub> 32,39 <sub>13,10</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 56,39 <sub>8,14</sub> Ad	T <sub>13</sub> 114,51 <sub>0,62</sub> Be
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 43,79 <sub>5,40</sub> Ac	T <sub>14</sub> 53,28 <sub>15,83</sub> Bb
Média	45,88	67,17

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Tanto para as diferentes quantidades de resina aplicadas, quanto para as diferentes composições colchão, houve uma diminuição dos valores de absorção 2 horas e 24 horas com o aumento da proporção de fibras *oversize* com resina no colchão e com o aumento da porcentagem de resina aplicada de 8% para 12%. No entanto, a maior acomodação das fibras proporcionada pela inclusão de material de menor dimensão e a maior disponibilidade de resina das fibras *overzise* impregnadas devem ter contribuído para os resultados encontrados, impedindo ou retardando a entrada de água nos painéis.

No que tange o aumento do teor de resina de 8% para 12%, observa-se que houve diferença estatística em todas as composições, independentemente do tempo de imersão em água (2 h ou 24 h), o que permite afirmar que o aumento da quantidade de resina nos painéis limita a absorção de água pelos mesmos, entretanto, pode causar um incremento no custo final de produção em função da resina ser um dos componentes mais caros para a manufatura dos painéis reconstituídos. Dessa forma acredita-se que com a gradual redução da absorção de água, uma possibilidade para a redução dos custos do produto seria a retirada da emulsão parafina.

O percentual encontrado de absorção de água dos painéis chegou a mais de 100% de redução em duas composições para imersão 2 horas, tratamentos T6 para T1 e T13 para T11, e uma composição para imersão 24 horas, T13 para T11; esta constatação foi verificada quando era aumentada a quantidade de resina de 8% para 12%.

Santos *et al.* (2009) verificou que de modo geral, os painéis produzidos com 12% de adesivo apresentaram menor absorção de água em relação aos painéis com 8%, tanto para 2 horas, quanto para 24 horas de imersão. Os autores complementam que a aplicação de maior quantidade de adesivo às partículas de madeira contribuíram para melhor impermeabilização das superfícies das partículas e,

consequentemente, para redução na absorção de água. Comportamento semelhante foi observado por Iwakiri *et al.* (2000), utilizando dois níveis de adesivo ureia-formaldeído (8% e 12%).

Verificando, separadamente, os painéis multicamadas, destaca-se que os tratamentos 12 e 14 (F-P-F), apresentaram valores inferiores de absorção de água para 2 horas e 24 horas, quando comparados aos tratamentos 11 e 13 (P-F-P). Acredita-se que isso tenha ocorrido decorrente da maior quantidade de resina nas fibras, Iwakiri *et al.* (2012c) esclarece que aumentando o teor de resina nas camadas externas de 8% para 10%, verifica-se uma tendência na redução da absorção de água para 2 horas e 24 horas. Trianoski (2010) corrobora que a composição da camada externa, pode melhorar a propriedade de absorção de água.

Quanto as diferentes composições, os tratamentos formados por painéis homogêneos e 100% de fibras, T5 e T10, apresentaram os melhores resultados e os compostos por 100% de partículas, os menos expressivos. Para os painéis multicamadas (P-F-P e F-P-F), foram encontradas diferenças estatísticas com exceção da absorção 2 horas entre os tratamentos T11 e T12 com 12% de resina. Acredita-se que os melhores resultados encontrados nas composições F-P-F são devido a maior quantidade de fibras impregnadas nas camadas externas e sua maior densificação.

Trianoski *et al.* (2011b) utilizando *Pinus spp* e *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções para a fabricação de painéis aglomerados, observaram diferenças estatísticas entre as composições levando em consideração a absorção a 2 horas e a 24 horas, onde se destacou a composição 100% *Pinus taeda* com 7,36% e 20,58%, respectivamente. Weber (2011) também obteve diferença estatística, quando analisou a variável composição. Diferentemente de Sanches (2012) que não obteve diferença estatística nas composições, quando levou em consideração os painéis homogêneos na AA a

2 horas, já quando o autor analisou a 24 horas dos painéis homogêneos e a 2 e 24 horas dos painéis multicamadas, o autor obteve diferença estatística entre as composições.

#### 4.1.5 Inchamento em espessura

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios obtidos para inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, onde observa-se que numericamente, todos os tratamentos compostos por 12% de resina apresentaram os melhores resultados. Ao mesmo tempo, a medida que era incorporado aos painéis uma maior porcentagem de fibras *oversize*, os resultados tenderam também a melhorar.

Tabela 7- Valores médios do inchamento em espessura a 2 horas e a 24 horas dos painéis.

Composição	Inchamento 2h	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	<sup>T1</sup> 13,30 <sub>4,55</sub> Ad	<sup>T6</sup> 18,77 <sub>7,52</sub> Ae
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	<sup>T2</sup> 7,51 <sub>6,24</sub> Ac	<sup>T7</sup> 11,66 <sub>13,22</sub> Bc
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	<sup>T3</sup> 6,49 <sub>6,22</sub> Ac	<sup>T8</sup> 9,03 <sub>18,42</sub> Bc
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	<sup>T4</sup> 3,96 <sub>17,46</sub> Ab	<sup>T9</sup> 6,11 <sub>1,85</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	<sup>T5</sup> 2,22 <sub>12,99</sub> Aa	<sup>T10</sup> 3,60 <sub>16,63</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	<sup>T11</sup> 13,01 <sub>18,49</sub> Ad	<sup>T13</sup> 22,42 <sub>6,10</sub> Bf
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	<sup>T12</sup> 5,52 <sub>4,00</sub> Ac	<sup>T14</sup> 13,00 <sub>13,42</sub> Bd
Média	7,43	12,08



Composição	Inchamento 24h	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 23,40 <sub>6,21</sub> Ac	T <sup>6</sup> 25,21 <sub>11,03</sub> Ac
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 16,73 <sub>2,56</sub> Ab	T <sup>7</sup> 19,95 <sub>7,39</sub> Bb
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 14,07 <sub>7,00</sub> Ab	T <sup>8</sup> 19,51 <sub>7,68</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 10,87 <sub>11,64</sub> Aa	T <sup>9</sup> 18,35 <sub>4,48</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 10,19 <sub>1,99</sub> Aa	T <sup>10</sup> 16,83 <sub>4,83</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 22,83 <sub>3,40</sub> Ac	T <sup>13</sup> 33,28 <sub>0,45</sub> Bd
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sup>12</sup> 11,53 <sub>2,79</sub> Aa	T <sup>14</sup> 20,85 <sub>11,26</sub> Bb
Média	15,66	22,04

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Em relação ao atendimento aos critérios das normas de qualidade, verifica-se que quanto ao inchamento 24 horas, todos os tratamentos se enquadram nas normas CS 236-66 (1968) e ANSI A208.1 (2009) que estabelecem valores máximos de 35% e 40%, respectivamente. No entanto, em relação a norma NBR 14810 (2013) que estabelece inchamento máximo de 18%, observando os tratamentos produzidos com 12% de resina apenas o T1 e o T11 não se enquadraram, já nos produzidos com 8% apenas o tratamento T10 não ultrapassou o preestabelecido. E segundo a EN 312-2 (2003) que estabelece 15% como máximo, somente quatro tratamentos atenderam a norma, sendo T3 (50% de partículas), T4 (25% de partículas), T5 (100% de fibras) e T12 (multicamada F – P – F), todos com 12% de resina.

Nota-se por meio das Tabelas 6 e 7, que a tendência das médias encontradas para inchamento em espessura e absorção de água foi a mesma, onde houve um incremento dos valores

médios com o acréscimo da quantidade de resina aplicada e também com o aumento da proporção de fibras *oversize* impregnadas no painel.

Comparando com outros estudos, Iwakiri *et al.* (2001) encontraram valores limítrofes superiores para IE 2 horas (25,20% a 34,80%) e 24 horas (32,70% a 39,70%). Já Weber (2011) encontrou valores inferiores para inchamento em espessura após 2 e 24 horas, sendo eles 2,50% a 8,38% e 6,42% e 32,26%, respectivamente. E ainda Haselein (2002) atingiu intervalos inferiores para IE a 2 horas (3,22% a 4,72%), porém superiores para 24 horas (27,43% a 35,43%).

Em relação ao aumento na quantidade de resina, de 8% para 12%, observa-se diferença estatisticamente em todas composições analisadas, tanto para imersão 2 horas quanto para 24 horas, com exceção dos tratamentos T1 e T6 que apresentaram valores médios equivalentes. Nota-se que estes tratamentos são formados por 100% de partículas sem a impregnação preliminar de resina.

Já para os demais tratamentos em que havia a presença das fibras *oversize* impregnadas, mesmo que em pequena quantidade (25%), houve diminuição de até 62% para os painéis homogêneos (T10 para T5) e até 135% nos painéis multicamadas (T14 para T12) no inchamento 2 horas; enquanto que para 24 horas, a redução acabou sendo também expressiva, com 69% (T9 para T4) e 81% (T14 para T12%).

Comparando com os resultados do presente trabalho, Santos *et al.* (2009) utilizando duas porcentagens de adesivo (8% e 12%) obteve diferença estatística nos painéis aglomerados compostos por pinus e candeia, apenas quando a porcentagem do pinus foi de 25 e 50%, quando o painel foi produzido com 75% de *Pinus*, a variação de adesivo apresentou-se estatisticamente igual. Dacosta (2004), utilizando resíduos de *Pinus elliottii* e três teores de adesivo (4, 8 e 12%) afirma que os valores mais baixos de inchamento em

espessura, independentemente das massas específicas, foram obtidos com o uso de adesivo em proporção de 12%.

Quanto a composição observa-se que o comportamento do inchamento em espessura a 2 horas e a 24 horas foram semelhantes, em que houve um decréscimo dos valores conforme a adição de fibras nos tratamentos homogêneos e ainda que o tratamento 5 (100% de fibras) apresentou-se superior aos demais nas duas porcentagens de resina e no IE a 2 horas e 24 horas. Ressalta-se ainda, que as médias das composições com 12% de ureia formaldeído (7,43 e 15,66%) foram ligeiramente superiores aos valores médios dos painéis produzidos com 8% de resina (12,08 e 22,04%).

Analizando separadamente os painéis multicamadas, observa-se que todos apresentaram diferenças estatísticas e aqueles compostos por F-P-F mostraram-se superiores, acredita-se que da mesma forma que para a absorção de água esse fato se deve a quantidade de resina impregnada nas fibras e a densificação que os painéis sofreram.

Mendes (2001) utilizando 6 espécies de *Pinus spp* na fabricação de painéis reconstituídos, não obteve diferença estatística mediante a comparação das composições em seu estudo. Analisando apenas os tratamentos compostos por 100% de *Pinus spp.*, Gorski (2014) obteve diferença estatística apenas no IE a 2 horas em seus painéis reconstituídos.

Brito (1995), afirma que a geometria das partículas, massa específica dos painéis, teor de resina, teor de parafina, eficiência na aplicação da cola, e condições de prensagem podem afetar essa propriedade. Acredita-se que a variável que mais influenciou no fator inchamento em espessura foi o teor de resina e consequentemente a eficiência da aplicação de cola.

#### **4.1.6 Taxa de não retorno em espessura (TNRE)**

Os valores de taxa de não retorno em espessura variaram, conforme valores médios apresentados na Tabela 8,

de 5,89 (T5) com 12% de resina a 32,31 (T13) com 8% de resina, da mesma maneira como o encontrado para o inchamento em espessura a 2h e 24h.

Tabela 8- Valores médios da taxa de não retorno em espessura dos painéis.

Composição	Taxa de não retorno em espessura (%)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 21,20 <sub>15,68</sub> Ac	T <sup>6</sup> 22,95 <sub>14,01</sub> Ac
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 13,48 <sub>5,80</sub> Ab	T <sup>7</sup> 21,09 <sub>8,94</sub> Bc
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 10,94 <sub>13,11</sub> Ab	T <sup>8</sup> 18,92 <sub>9,69</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 9,30 <sub>26,15</sub> Aa	T <sup>9</sup> 17,45 <sub>16,38</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 5,89 <sub>10,84</sub> Aa	T <sup>10</sup> 6,90 <sub>14,40</sub> Aa
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 21,24 <sub>11,38</sub> Ac	T <sup>13</sup> 32,31 <sub>5,65</sub> Bd
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sup>12</sup> 7,70 <sub>15,92</sub> Aa	T <sup>14</sup> 18,34 <sub>16,52</sub> Bb
Média	12,82	19,71

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Analisando os resultados referentes ao adesivo da taxa de não retorno em espessura, observa-se que a maioria dos tratamentos foram estatisticamente diferentes, com exceção daqueles compostos por 100% de partículas (T1 e T6) e 100% de fibras (T5 e T10). O aumento da disponibilidade de resina, por área superficial de partículas, quando o teor de resina aumentou de 8 para 12%, ocorreu não só pela barreira física

provocada pela maior porcentagem de resina, mas também pela ocupação dos sítios higroscópicos da madeira (OH), deixando o colchão menos reativo à água (SILVA, 2006).

Kelly (1977) aponta a relação inversa com o teor de resina. Fato este observado no presente trabalho, em que os tratamentos que possuíam 12% de resina apresentaram menor inchamento residual.

Com relação ao teor de resina, Mendes (2001) constatou que houve uma redução estatisticamente significativa na taxa de não retorno em espessura nos painéis, quando o teor de resina foi aumentado de 4 para 6%. Esta tendência também foi observada por Childs (1956) e citado por Kelly (1977) que menciona a existência de uma relação inversa entre o conteúdo de resina e a taxa de não retorno em espessura (TNRE).

Citação essa se confirma observando os resultados da Tabela 8, onde a TNRE apresentou resultados semelhantes ao inchamento em espessura a 2 e 24 horas. Ressalta-se que, novamente, houve um decréscimo nas médias da taxa de não retorno em espessura dos painéis homogêneos, a medida que aumentava a porcentagem de fibras nos tratamentos porém, para 12% de resina, os tratamentos T4, T5 e T12 apresentaram-se estatisticamente iguais e superiores e, para 8% de resina, o T10 (100% de fibras) que apresentou-se estatisticamente superior. Da mesma forma que observando os painéis multicamadas aqueles com a composição F-P-F, apresentaram-se superiores estatisticamente aos compostos por P-F-P.

Mendes (2001) relatou que a diminuição da relação face/miolo dos painéis de 1:1:1 para 1:3:1, não afetou significativamente a taxa de não retorno em espessura com valor médio de 25,70%. Trianoski (2010) obteve para *Pinus taeda* valor de 21,50% para inchamento residual. Iwakiri e Keinert Júnior (1990) analisando o comportamento de 3 novas espécies do gênero *Pinus* para produção de chapas estruturais

"*waferboard*" obteve valores que variaram de 17 ,61% a 25,05%.

Hann, Black e Blomquist (1963) complementa que a taxa de não retorno em espessura provavelmente é influenciada pelas espécies que o compunham, partículas, massa específica, razão de compactação, entre outras causas. Diferentemente do presente estudo onde acredita-se que a razão da TNRE é o percentual de adesivo aderido as fibras utilizadas.

#### 4.2 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Na Tabela 9 estão representados os valores da análise fatorial para as propriedades mecânicas dos painéis aglomerados, onde pode ser observado que houve significância dos dados, tendo em vista que todos apresentaram valores inferiores a 0,05, ou seja, 95%.

Tabela 9- Valores de probabilidade dos fatores para os ensaios mecânicos nos painéis

<b>Propriedade</b>	<b>Fator</b>		
	<b>Composição (C)</b>	<b>Adesivo (A)</b>	<b>Interação C*A</b>
Tração Perpendicular	0,000	0,000	0,000
Flexão Estática			
MOE	0,000	0,000	0,000
MOR	0,000	0,003	0,000
Arrancamento de Parafuso			
Superfície	0,000	0,000	0,000
Topo	0,005	0,000	0,004

Fonte: Produzido pelo próprio autor, 2014.

Observa-se na Tabela apresentada (Tabela 11) que os fatores relacionados as diferentes composições e teores de adesivo interferiram de forma isolada ou na interação, tanto na resistência quanto na rigidez dos painéis. Sendo assim, no decorrer da discussão das propriedades mecânicas serão destacados os melhores tratamentos, os fatores que levaram a superioridade / inferioridade dos resultados, bem como o atendimento as normas de qualidade de referência.

#### 4.2.1 Flexão Estática

Os valores médios encontrados para o Módulo de Elasticidade (MOE) e Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis estão apresentados na Tabela 10, onde denota-se que houve uma variação de 1967,46 (T5) a 1310,97 MPa (T13) e 25,83 (T5) a 9,59 MPa (T6), respectivamente. Em relação às variáveis analisadas no estudo, evidencia-se que de forma geral o melhor tratamento foi o T5, o qual é composto por 100% de fibras *oversize* e uma quantidade bastante elevada de resina (resina aplicada no processo industrial e aplicada no laboratório (12%)). Já os tratamentos menos expressivos foram o T6 e T7 que são compostos por 100% e 75% de partículas com 8% de resina.

Tabela 10- Valores médios da flexão estática, para o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura.

Composição	MOE (MPa)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	<sup>T1</sup> 1623,00 <sub>9,90</sub> Ab	<sup>T6</sup> 1367,28 <sub>7,85</sub> Bb
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	<sup>T2</sup> 1630,39 <sub>10,58</sub> Ab	<sup>T7</sup> 1461,70 <sub>5,58</sub> Bb

Continua...

Tabela 10- Continuação

<b>Composição</b>	<b>MOE (MPa)</b>	
	<b>12% resina</b>	<b>8% resina</b>
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 1856,08 <sub>5,21</sub> Aa	T <sup>8</sup> 1504,90 <sub>8,37</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 1910,46 <sub>7,37</sub> Aa	T <sup>9</sup> 1601,95 <sub>5,08</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 1967,46 <sub>7,00</sub> Aa	T <sup>10</sup> 1667,75 <sub>5,70</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 1534,22 <sub>6,23</sub> Ac	T <sup>13</sup> 1310,97 <sub>8,10</sub> Bb
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sup>12</sup> 1909,97 <sub>7,24</sub> Aa	T <sup>14</sup> 1808,63 <sub>6,27</sub> Aa
Média	1744,05	1563,78

<b>Composição</b>	<b>MOR (MPa)</b>	
	<b>12% resina</b>	<b>8% resina</b>
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 11,20 <sub>15,67</sub> Ac	T <sup>6</sup> 9,59 <sub>21,12</sub> Bd
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 13,57 <sub>17,25</sub> Ac	T <sup>7</sup> 11,76 <sub>14,15</sub> Bd
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 19,97 <sub>11,67</sub> Ab	T <sup>8</sup> 15,61 <sub>8,29</sub> Bc
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 20,88 <sub>15,50</sub> Ab	T <sup>9</sup> 17,35 <sub>10,20</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 25,83 <sub>11,43</sub> Aa	T <sup>10</sup> 19,30 <sub>17,45</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 17,86 <sub>8,48</sub> Ab	T <sup>13</sup> 10,74 <sub>12,35</sub> Bd
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sup>12</sup> 22,10 <sub>12,06</sub> Ab	T <sup>14</sup> 21,26 <sub>6,10</sub> Aa
Média	18,77	15,09

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si;



médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Comparando os resultados de MOE e MOR com a NBR 14810 (2013) que estabelece valor de rigidez e resistência mínimos de 1600 MPa e 11 MPa, observa-se que todos os tratamentos com 12% de resina ficaram acima dos limites mencionados, com exceção do tratamento T11 que apresentou valor médio MOE de 1534,22 MPa. No entanto, para 8% de resina somente três tratamentos atenderam a norma, os quais são caracterizados por uma grande quantidade de fibras *oversize* (T9 e T10) e alta densificação das camadas externas (T14).

Em relação a EN 312-2 (2003), cinco tratamentos não atingiram os critérios de 1600 MPa para MOE e 13 MPa para MOR, dentro destes, um foi caracterizado por aplicação de 12% de resina (T11) e os demais por 8% (T6, T7, T8 e T13).

Quanto a ANSI A208.1 (2009), que estabelece classes de qualidade, M1 (1550 MPa, 10 MPa), MS (1700 MPa, 11 MPa), M2 (2000 MPa, 13 MPa) e M-3i (2500 MPa, 15 MPa), verifica-se que os tratamentos T3, T4, T5, T12 e T14 se enquadram na classe MS, os tratamentos T1, T2, T9 e T10 na M1 e os demais (T6, T7, T8, T11 e T13) não atingiram pelo menos um dos critérios mínimos de MOE e MOR estabelecidos pela norma. Assim, denota-se que dos 14 tratamentos avaliados, 4 com 12% de resina foram classificados como MS e 4 com 8% de resina não foram enquadrados em nenhuma das classes.

E ainda a norma CS 236-66 (1968) que determina 2403 MPa para MOE e 11 MPa para MOR, destaca-se que para rigidez, nenhum tratamento atingiu o valores requisitados, já para resistência todos os tratamentos se enquadraram, com exceção do tratamento multicamada T13, composto por P-F-P e 8% de resina.

Em relação à influência da aplicação da quantidade diferenciada de adesivo nas variáveis de rigidez e resistência, verifica-se que houve diferença estatística em todas as composições, com exceção dos tratamentos multicamadas (T12 e T14) que são caracterizados por 60% de partículas na camada central e 40% de fibras nas camadas externas (superior e inferior). Baseado na observação da significância, destaca-se que os tratamentos superiores foram os compostos por 12% de resina e que a diferença de MOE entre as duas quantidades de resina aplicadas chegaram a 351,18MPa nos tratamentos T3 e T8 e a 7,12 MPa para MOR nos tratamentos compostos por painéis multicamadas (T11 e T12).

Acredita-se que os melhores resultados encontrados para os tratamentos com painéis com 12% de resina seja resultado dos maiores valores de massa específica e razão de compactação, que foram reflexos da maior quantidade de resina e da maior acomodação do material dentro dos painéis. Dacosta (2004) encontrou fato semelhante em seu trabalho, onde a autora esclarece que os valores de MOR e MOE são elevados com o aumento do teor de adesivo e da densidade dos painéis.

Iwakiri *et al.* (2004b), estudando o comportamento da madeira de *Pinus spp* em associação a uma espécie alternativa na confecção de painéis aglomerados com dois teores de adesivo ureia formaldeído (6% e 8%) e duas densidades diferentes, encontraram resultados que mostraram tendência ao aumento nos valores médios do MOE e do MOR com o incremento no teor de adesivo de 6% para 8%.

Weber (2011) avaliando painéis aglomerados fabricados com MDP, MDF e compensado em dois teores de resina (6 e 10%) também encontrou valores superiores para seus painéis quando utilizou 10% de resina ureia formaldeído.

Relacionando os valores de MOE com a composição do colchão, ou seja, fixando a porcentagem de resina e alterando a variável mencionada, verifica-se diferenças claras de rigidez,

onde dentro do grupo de 12%, quatro tratamentos apresentaram valores médios superiores equivalentes (T3, T4, T5 e T12), os quais apresentavam quantidade de fibras *oversize* superior a 40%. Já dentro do grupo de 8% de resina, somente os tratamentos T10 (homogêneo) e T14 (multicamada) foram superiores e estatisticamente iguais, sendo caracterizados também com uma quantidade de fibras acima de 40%.

Na análise do MOE têm-se duas situações distintas, onde nos tratamentos com painéis homogêneos houve um incremento dos valores com o aumento da quantidade de fibras *oversize* resinadas e na segunda situação, painéis multicamadas, a presença de partículas na camada central e fibras nas superfícies proporcionou melhores resultados. Na primeira situação, é clara a influência positiva da presença das fibras *oversize* e na segunda, a presença de partículas na camada central com uma maior razão de esbeltez e uma maior densificação das fibras na superfície pode ter proporcionado os melhores valores médios para rigidez dos painéis.

Os valores de resistência (MOR), quando relacionados com a variável composição a 12 e a 8% apresentaram comportamento similar ao módulo de elasticidade, sendo assim observou-se diferença estatística nos dois grupos de teores de resina. De acordo com os valores médios encontrados, permite-se afirmar que os resultados mais expressivos para o grupo de 12% foram encontrados no tratamento T5 e para o grupo de 8% no tratamento T10, ambos com 100% de fibras *oversize*; enquanto que os menos expressivos foram encontrados nos tratamentos T1 e T6 com 100% de partículas.

Fato similar ocorreu com Dacosta (2004), onde a autora observou que com o aumento do uso de maravalha e a mistura serragem e maravalha na produção dos painéis, e consequente aumento da densidade e do teor de adesivo, o MOR e o MOE também aumentaram.

Weber (2011) também obteve diferença estatística entre os diferentes tratamentos do seu estudo. Já Iwakiri e Keinert

Junior (1990) produzindo painéis *waferboard*, e utilizando 4 espécies de *Pinus*, não obtiveram diferença estatística entre os 4 tratamentos (*Pinus taeda*, *Pinus serotina*, *Pinus palustris* e *Pinus glabra*).

Comparando os resultados com outros autores podem ser destacados alguns trabalhos que apresentaram resultados inferiores ao presente trabalho como: Weber (2011) que obteve valores médios, para o módulo de elasticidade que variaram de 882,96 MPa a 1522,31 MPa, da mesma forma para módulo de ruptura, que variaram de 4,93 MPa a 9,76 MPa. Dacosta *et al.* (2005b), que estudou painéis de madeira aglomerada, fabricados com resíduos do processamento mecânico de *Pinus elliottii*, com e 4%, 8% e 12% de resina UF, atingiu os valores para MOR de 5,06 a 9,72 MPa, e para MOE variaram de 522,69 a 1183,75 MPa. Batista *et al.* (2007) avaliando painéis de 3 camadas de *Pinus elliottii* e casca de *Eucalyptus pellita* obtiveram valores de MOR 4,90 MPa a 11,04 MPa e para MOE 714,91 MPa a 1868,85 MPa.

#### **4.2.2 Tração perpendicular**

Na Tabela 11 estão apresentados os valores médios obtidos no ensaio de tração perpendicular (ligação interna) de todos os tratamentos, bem como seus respectivos coeficientes de variação. Observa-se que as médias variaram de 0,18 MPa a 0,59MPa, para os tratamentos T13 e T5, respectivamente.

Tabela 11- Valores médios da tração perpendicular dos painéis.

Composição	Tração perpendicular (MPa)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sup>1</sup> 0,39 <sub>9,33</sub> Ad	T <sup>6</sup> 0,32 <sub>19,35</sub> Bb
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sup>2</sup> 0,47 <sub>7,22</sub> Ab	T <sup>7</sup> 0,37 <sub>3,82</sub> Ba
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sup>3</sup> 0,49 <sub>6,76</sub> Ab	T <sup>8</sup> 0,37 <sub>8,16</sub> Ba
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sup>4</sup> 0,56 <sub>7,00</sub> Aa	T <sup>9</sup> 0,38 <sub>8,45</sub> Ba
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sup>5</sup> 0,59 <sub>11,29</sub> Aa	T <sup>10</sup> 0,40 <sub>10,23</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sup>11</sup> 0,34 <sub>12,70</sub> Ad	T <sup>13</sup> 0,18 <sub>6,30</sub> Bd
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sup>12</sup> 0,44 <sub>10,60</sub> Ac	T <sup>14</sup> 0,27 <sub>17,91</sub> Bc
Média	0,45	0,33

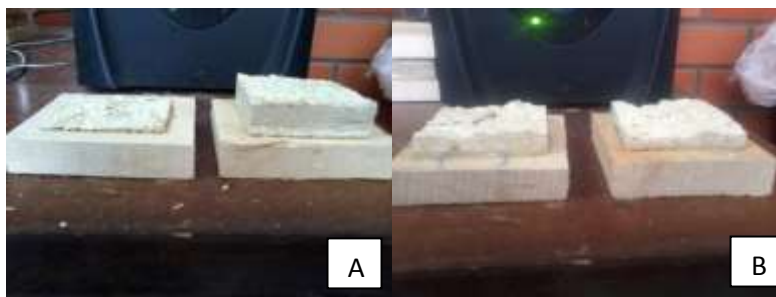
Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Comparando os resultados com as normas NBR 14810 (2013) e EN 312 (2003), que estabelecem o valor mínimo de 0,35 MPa para a propriedade, constata-se que a maioria dos tratamentos atenderam o critério, com exceção dos tratamentos T6, T11, T13 e T14. Quanto a CS 236-66 (1968) que determina 0,48 MPa, apenas os tratamentos T3, T4 e T5 alcançaram o prescrito, com 0,49 MPa, 0,56 MPa e 0,59 MPa, respectivamente.

E ainda, comparando com a norma ANSI A208.1 (2009), que estabelece nas classes de qualidade 0,36 MPa (classes M-1 e MS), 0,40 MPa (M-2) e 0,50 MPa (M-3i), os tratamentos T4 e T5 foram classificados como M-3i, os tratamentos T2, T3, T10 e T12 como M-2, os tratamentos T1, T7, T8 e T9 como MS e os demais não se enquadraram em nenhuma das classes.

Vital, Lehmann e Boone (1974), afirmam que a ligação interna aumenta, geralmente, com o aumento da densidade dos painéis porém, no presente estudo, em função dos resultados encontrados, confere-se que houve dois fatores que tiveram uma influência maior que a densidade, inclusão das fibras *oversize* e a quantidade de resina, conforme apresentado na Figura 16 onde a A apresenta que os painéis multicamadas sempre rompiam na camada em que estava composta por partículas e na figura B os tratamentos homogêneos rompiam no meio do corpo de prova. Este ponto é bem claro nas diferenças estatísticas encontradas e no enquadramentos dos painéis as normas de qualidade.

Figura 16- Ensaio de tração perpendicular. A) Painel multicamada – rompimento na camada com partículas. B) Painel homogêneo – rompimento no meio do corpo de prova.



Fonte: Produção do próprio autor, 2014.

Iwakiri *et al.* (2000), acrescentam que o incremento em resistência pode ser atribuído à maior disponibilidade de adesivo por unidade de área das partículas. Hillig (2000) complementa que geralmente, os valores encontrados de tração perpendicular que ficaram abaixo dos mínimos exigidos nos padrões de qualidade internacional são decorrentes a baixa

qualidade de colagem, estando relacionados ao teor de umidade do colchão e com o teor de adesivo.

Analisando a variável resina, ressalta-se que todos os tratamentos apresentaram-se estatisticamente diferentes, como encontrado por Santos *et al.* (2009) que utilizou o mesmo adesivo nas mesmas proporções deste trabalho. Equivalente ao trabalho de Dacosta (2004), citado anteriormente, que o valor da ligação interna foi maior com o uso de adesivo em proporção de 12%, independentemente do tipo de resíduo utilizado.

Brito (1984) e Maciel (2001) também observaram que a resistência à tração perpendicular foi influenciada positivamente pela maior quantidade de adesivo empregada.

Tratando-se da variável composição observa-se que nas duas porcentagens de adesivo (8 e 12%) houve variação estatística. A 12%, observa-se que os tratamentos 4 e 5 foram estatisticamente superiores, destacando suas composições de 75% e 100% de fibras. Observa-se também que o comportamento dos tratamentos homogêneos foi semelhante ao supracitado, onde com o aumento da porcentagem de fibras nos tratamentos aumentou o potencial dos painéis para tração perpendicular. Já para os tratamentos multicamadas constata-se que os tratamentos T11 e T13 apresentaram os piores resultados e na análise dos corpos de prova ficava claro o ponto de ruptura que era sempre na camada que envolvia a presença de partículas.

Acredita-se que os melhores resultados são decorrente a quantidade de resina impregnada nas fibras utilizadas, além do tamanho das mesmas que possibilita uma melhor acomodação do material e consequentemente redução dos espaços internos. Brito e Peixoto (2000) explicam que painéis feitos com partículas menores apresentaram uma maior resistência à tração perpendicular quando comparadas à partículas maiores. Os autores ainda descrevem que partículas menores são

responsáveis por uma melhor uniformização do material e pela formação de menores espaços internos.

Iwakiri *et al.* (2001) utilizando 5 espécies de *Pinus* tropicais, para a confecção de painéis puros, obtiveram diferença estatística em apenas uma composição, com destaque ao *P. tecunumannii*. Destaca-se ainda que os autores obtiveram valores limitrofes superiores (0,71 a 1,03 MPa) ao presente estudo. Haselein *et al.* (2002), também observou apenas um tratamento estatisticamente diferente dos demais, o composto por partículas de *Pinus elliottii* com 40,0 mm comprimento, 20,0 mm largura e 0,5 mm de espessura, porém o intervalo dos valores médios, igualou-se no limite inferior (18 MPa) e apresentou-se inferior (0,28 MPa) para o limite superior. E ainda, Iwakiri *et al.* (2005b) utilizando *Pinus spp* para avaliar a influência da densidade do painel e da resina melamina-uréia-formaldeído (MUF) sobre as propriedades do painel aglomerado, obtiveram diferenças estatísticas entre as diferentes composições, onde o tratamento estatisticamente superior foi o composto por 0,90 g/cm<sup>3</sup> e 12% MUF, e que seus valores limítrofes (0,19 a 1,50 MPa) foram superiores a este estudo.

#### **4.2.3 Arrancamento de Parafuso**

Na Tabela 12 estão expressos os valores médios para arrancamento de parafuso de superfície e de topo, onde é possível verificar o aumento da carga necessária para retirar o parafuso de corpo de prova à medida que ocorre um incremento na proporção de fibras *oversize* resinadas no painel e também a quantidade de resina disponível entre / dentro das partículas / fibras.



Tabela 12- Valores médios de arranchamento de parafuso de superfície e de topo.

Composição	Superfície (N)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 1328,18 <sub>6,67</sub> Ac	T <sub>6</sub> 1229,44 <sub>12,69</sub> Bb
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 1373,18 <sub>17,77</sub> Ac	T <sub>7</sub> 1232,55 <sub>11,06</sub> Bb
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 1410,45 <sub>14,69</sub> Ab	T <sub>8</sub> 1237,70 <sub>6,36</sub> Bb
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 1569,36 <sub>9,67</sub> Aa	T <sub>9</sub> 1241,00 <sub>9,48</sub> Bb
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 1592,36 <sub>10,07</sub> Aa	T <sub>10</sub> 1344,80 <sub>10,97</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 1471,55 <sub>8,46</sub> Ab	T <sub>13</sub> 1156,20 <sub>8,30</sub> Bb
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 1353,55 <sub>11,08</sub> Ac	T <sub>14</sub> 1106,55 <sub>17,91</sub> Bb
Média	1442,66	1221,18

Composição	Topo (N)	
	12% resina	8% resina
P <sub>100%</sub> – F <sub>0%</sub>	T <sub>1</sub> 860,91 <sub>5,15</sub> Ab	T <sub>6</sub> 750,50 <sub>19,07</sub> Ba
P <sub>75%</sub> – F <sub>25%</sub>	T <sub>2</sub> 933,27 <sub>21,43</sub> Ab	T <sub>7</sub> 760,18 <sub>15,68</sub> Ba
P <sub>50%</sub> – F <sub>50%</sub>	T <sub>3</sub> 934,09 <sub>20,46</sub> Ab	T <sub>8</sub> 817,33 <sub>14,55</sub> Ba
P <sub>25%</sub> – F <sub>75%</sub>	T <sub>4</sub> 1042,30 <sub>24,90</sub> Aa	T <sub>9</sub> 825,60 <sub>12,40</sub> Ba
P <sub>0%</sub> – F <sub>100%</sub>	T <sub>5</sub> 1054,29 <sub>2,05</sub> Aa	T <sub>10</sub> 856,50 <sub>17,40</sub> Ba
P <sub>20%</sub> – F <sub>60%</sub> – P <sub>20%</sub>	T <sub>11</sub> 1166,00 <sub>12,87</sub> Aa	T <sub>13</sub> 849,64 <sub>23,70</sub> Ba
F <sub>20%</sub> – P <sub>60%</sub> – F <sub>20%</sub>	T <sub>12</sub> 937,10 <sub>12,14</sub> Ab	T <sub>14</sub> 742,90 <sub>17,91</sub> Ba
Média	989,71	800,44

Em que, P: partícula, F: fibra, Sobrescrito: número do tratamento, Subscrito: coeficiente de variação (%). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para uma mesma variável não diferem estatisticamente entre si; médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si, ambos pelo teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade.

Comparando os resultados encontrados com os parâmetros da ANSI A208.1 (2009) que determina carga mínima de 700 N para topo e 800 N para superfície na classe MS, 800 N e 900 N na M-2 e 900 N e 1000 N na M-3i,

observa-se que seis tratamentos atingem os parâmetros da M-3i (T2, T3, T4, T5, T11 e T12), cinco M-2 (T1 T8, T9, T10, T13) e três os da MS (T6, T7 e T14).

Já de acordo com a norma NBR 14810 (2013), destaca-se que todos os tratamentos atingiram o determinado para arrancamento de parafuso de superfície (1020N), porém para o arrancamento de parafuso de topo os tratamentos T6, T7 e T14, não atingiram o valor de 800N.

Na análise individual da influência da quantidade de adesivo nesta propriedade, nota-se que houve diferença estatística em todas as composições, ou seja, independente da quantidade de partículas e fibras *overzise* resinadas no colchão, a aplicação de 8% e 12% no laboratório refletiram em valores diferenciados.

Pedrazzi *et al.* (2006), também observaram que o aumento da quantidade de adesivo aplicado proporcionou maior resistência ao arracamento de parafusos. Dacosta (2004) da mesma forma salienta que aumentando o teor de adesivo, a resistência das chapas ao arrancamento de parafuso aumenta. A mesma tendência também foi observada por Brito (1984).

Em relação a composição, é possível perceber que houve resultados diferenciados para arrancamento de superfície e de topo, entretanto com a mesma tendência, onde a presença da maior quantidade de fibras *overzise* resinadas no colchão tenderam aos melhores resultados.

Assim, para arrancamento de parafuso de superfície no grupo de 12% de resina, os melhores valores foram alcançados nos tratamentos T4 e T5 com 75% e 100% de fibras, respectivamente. O menos expressivo no tratamento T1 com 100% de partículas e os intermediários com quantidades equilibradas de matéria-prima, T3 e T12 com 50% e 40% de fibras. No grupo de 8%, o único tratamento que se destacou foi o T5 com 1344,80 N, estando os demais iguais estatisticamente e com valores inferiores a 1241,00 (T9).

Para arrancamento de parafuso de topo, o grupo com 12% de resina apresentou a mesma tendência do de superfície, onde os tratamentos T4 e T5 aparecem em destaque, porém sendo estatisticamente iguais ao tratamento multicamada T11, em virtude do parafuso ser aplicado na posição central do corpo de prova, ou seja, no tratamento mencionado é formado por 60% de fibras resinadas. Já no grupo de 8% de resina, todas as composições apresentaram valores equivalentes.

Haselein *et al.* (2002) utilizando partículas de *Pinus elliottii* Engelm com diferentes dimensões, também obteve diferença estatística entre os diferentes tratamentos. Sanches (2012), encontrou valores estatisticamente diferentes para o arrancamento de parafuso de superfície, porém para topo, o autor, não obteve diferença estatística entre seus tratamentos.

Ressalta-se ainda que as médias para as composições dos tratamentos produzidos com 12% de resina foram superiores aqueles produzidos com 8% de resina, tanto para o arrancamento de parafuso de superfície quanto de topo. E que os valores médios dos tratamentos do arrancamento de parafuso de superfície foram superiores aos do arrancamento de parafuso de topo.

Trianoski (2010) esclarece que em termos gerais e considerando os lados superfície e topo, normalmente a superfície tende a apresentar os maiores resultados de resistência, devido principalmente ao gradiente de densidade formado durante o processo de prensagem e a localização do parafuso no ensaio de topo estar localizado exclusivamente no centro do painel, onde geralmente ocorre a menor densificação. A autora complementa que outro fato a ser discutido, refere-se à influência da razão de compactação que tende a reduzir os espaços vazios no painel e promover um maior contato entre as partículas, gerando assim uma maior resistência mecânica, conforme observado nos arrancamento de parafuso de superfície.

Comparando os resultados com outros autores, tem-se a Trianoski (2010) obtendo para *Pinus taeda* valores médios inferiores para superfície (1206,71 N) e superiores para topo (1295,95 N). Da mesma forma que Trianoski *et al.* (2011a) quando obteve para *Pinus taeda* 1207,00 N para arrancamento de parafuso de superfície e 1315,00 N para arrancamento de parafuso de topo. Já Trianoski *et al.* (2011b), obteve valores inferiores de superfície (1031,86 N) e inferiores (846,06 N) para os tratamentos produzidos com 12% resina, porém superiores para aqueles produzidos com 8% de resina. Fato semelhante ocorreu com Iwakiri *et al.* (2012c) quando comparado com o presente estudo, onde atingiu para superfície e topo valores médios de 1031,00 e 905,00 N, respectivamente, utilizando a espécie *Pinus taeda*.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os valores médios de massa específica não atingiram o valor nominal de  $0,65 \text{ g/cm}^3$ , porém para todos os tratamentos a razão de compactação ficou no intervalo proposto pela literatura.
- Os painéis apresentaram incremento na espessura após a prensagem, sendo que os valores diminuíram com o aumento da quantidade de fibras *oversize* e teor de resina. Quanto ao teor de umidade, todos os tratamentos obtiveram valores médios dentro do estabelecido pelas normas de qualidade.
- Em relação à estabilidade dos painéis, é possível afirmar que o aumento da quantidade de fibras *oversize* resinadas e do teor de resina dos painéis homogêneos proporcionaram melhores valores de absorção de água e inchamento em espessura. Este fato também foi observado nos painéis multicamadas com fibras nas camadas externas.
- Para as propriedades mecânicas, os melhores resultados foram encontrados nos tratamentos com grande quantidade de fibras *oversize* resinadas (acima de 40%) e teor de resina (12%), demonstrando que estes dois fatores influenciam diretamente nas propriedades dos painéis, tanto quando analisados individualmente ou na interação.

### 5.1 CONCLUSÕES

- Quanto maior a porcentagem de fibras *oversize* e de resina, melhores foram os resultados referentes às propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

- Os melhores tratamentos do estudo foram compostos por painéis homogêneos com quantidade de fibras *oversize* acima de 50% (T3, T4 e T5) e painéis multicamadas com fibras nas camadas superficiais (T12). Ressalta-se que nos painéis dos tratamentos relacionados foram aplicados 12% de resina.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados encontrados, recomenda-se outros estudos relacionados a:

- Quantificação precisa da quantidade de fibras *oversize* resinadas obtidas no processo de classificação em uma indústria de MDF.
- Análise econômica da viabilidade da utilização das fibras *oversize* resinadas para a produção de painéis aglomerados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810 – 3** – Chapas de madeira aglomerada – Parte 3 – Métodos de Ensaio. 2006.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810**: painéis de madeira de média densidade. Parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 69p.

ABREU, L. B. de. **Pequenos objetos de resíduos de painéis de madeira gerados pela indústria moveleira**. Dissertação (Mestrado) -- Lavras : UFLA, pag 19. 2006.

ALBUQUERQUE, C.E.C. de. **Interações de cariáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 175p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ANSI – AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A 208.1**: Mat formed wood particleboard: specifications. Gaithersburg: National Particleboards Association, 2009. 9p.

**ASSOCIAÇÃO BASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS (ABIPA)**. Relatório anual. São Paulo, 2002

**ASSOCIAÇÃO BASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS (ABIPA)**. Relatório anual. São Paulo, 2010.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAPÉIS DE MADEIRA (ABIPA).** Números [produção madeireira no Brasil]. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 15 de setembro de 2014.

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

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM - **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: 1993.

BALLONI, C. J. V. **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE *Pinus elliottii***. Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2009

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. P. taeda L. - Loblolly pine. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Eds.). **Silvics of North America**. Washington: USDA Forest Service. v.1. p.497-512, 1990

BARRICHELO, L. E. O.; FOELKEL, C. E. B.; TAMEZAWA, J. & BRITO, J. O. - 1975 - Variação da densidade básica e composição química de madeira de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* em função da idade. **O Papel**, São Paulo, 35: 110-2, nov.



BARRICHELO, L. E. G.; KAGEYAMA, P. Y.; SPELTZ, R. M.; BONISH, H. S.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudo de procedências de *Pinus taeda* visando aproveitamento industrial. **IPEF**, Piracicaba, n. 15, p. 1-14, 1977.

BASSA, A. G. M. C. **Misturas de madeira de *Eucalyptus globulus* e *Pinus taeda* para a produção de celulose Kraft através do processo Lo-Solids**. 2006. 168p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BELINI, U.L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéisMDF**. 2007.90 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba. 2007.

BIANCHE, J. J.; CARNEIRO, A. DE C. O. C.; VITAL, B. R. V.; PEREIRA, F. A.; SANTOS, R. C. DOS; SORATTO, D. N. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e Vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, out./dez. 2012

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

BINDER, K. A. Resin application and quality in particleboard manufacture. In: **Symposium on Particleboard**, 1st , 1967, p. 235-250.

BOM, R. P. **Processo Produtivo de Painéis MDF - Cadeira de Painéis de Madeira**. União da Vitória – PR, Pg 11,12. 2008

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para a produção de chapas de composição estruturais *wafboard***. 1984. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1984.

BRITO, E.O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de *Pinus elliotti* Engelm. Var. *elliottii* plantado no Sul do Brasil**. Curitiba, 1995. 123p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

BRITO,E.O.; PEIXOTO, G.L. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60-67, jan./dez. 2000.  
BRUMBAUGH, J. Effect of flake dimensions on properties of particleboard. **Forest Products Journal**, v. 10, n. 5, p. 243-246, 1960

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

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; HACK, C.; GATTO, D.A.; BARROS, M.V.; SANTINI, E.J. Monitoramento da temperatura no interior de chapas aglomeradas durante o processo de prensagem. **Ciência Floestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 157-166.2005.

CARGNIN, O. **Alternativas das florestas de pinus**. [on line]. 2005. Disponível em  
<<http://www.valeverde.org.br/html/clipp2.php?id=3752&categoria=Biodiversidade>> Consultado em 15/08/06.

CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo de ureia-formaldeído e de taninos de casca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CEMPRE/SENAI. **Reduzindo, reutilizando, reciclando – a indústria ecoeficiente**. São Paulo. 2000

CHIES, D. **Influência do espaçamentos sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CHIPANSKI, E. do R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 2006. 193f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006

CHOW, P.; ZHAO, L. Medium density fiberboard made from phenolic resin and wood residues of mixed species. **Forest Products Journal**, v. 42, n. 10, p. 65-67, Oct. 1992.

CI FLORESTAS. **Pinus**. Disponível em  
<<http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=pinus>> Acesso em  
15 de dezembro de 2014.

CLOUTIER, A. Oriented Strand Board (OSB): Raw material, manufacturing process, properties, and uses. In: **Seminário Internacional sobre Produtos Sólidos de Madeira de Alta Tecnologia e Encontro sobre Tecnologia Apropriadas de Desdobro, Secagem e Utilização da Madeira de Eucalipto**, 1., 1998, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 1998. p. 173-185.

COMMERCIAL STANDART. **CS 236-66**: Mat formed wood particleboard, 1968.

CRAIGHEAD, P.W.; Waxes and water-soak test for Wood panels. Proceedings, In: **International Particleboard Composite Materials Symposium**, 25th Washington State University, Proceedings, 1991. p. 181-204.

CUNHA, A. B. da. **Produção de vigas estruturais de madeira avaliadas por meio de ensaios estáticos e dinâmicos**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DACOSTA, L.P.E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2004.

DACOSTA, L. P. E; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429. 2005 a

DACOSTA, L.P.E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, É. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. In: **Revista Ciência Florestal**, v. 15, n. 03, p. 311-322, 2005. B

DEL MENEZZI, C.H.S. **Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seu efeito sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB)**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), UFPR, Curitiba-PR, 2004, 226p

DESCH, H. E. **Timbers, it's structure and properties**. London, MacMillan, 1962, 350 p.  
DIN – Normen für Holzfaserplatten Spanplatten Sperrholz. **DIN 52362**: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. 40p.

ELEOTÉRIO JR., J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina.** 121 p.

Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

**EUCATEX – História (2014).** Disponível em

<<http://www.eucatex.com.br/pt/eucatex/historia>> Acesso em 04 de agosto de 2014.

EUROPEAN STANDARD. **EN 312:** particleboards: specifications. British Standard Institution, London, 2003. 22p.

FAGUNDES, H. A. V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul.** 2003.

180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FOELKEL, C. E. B. - 1973 - **Unbleached kraft pulp properties of some of the Brazilian and U. S. pines.**

Syracuse, SUNY, 192 p. (Tese - Mestrado).

FONTES, P. J. P. de. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento dos resíduos.** Curitiba, 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

GARCÍA, P.J.; AVRAMIDIS, S.; LAM, F. Internal temperature and pressure responses to flake alignment during hot pressing. **Holz als Roh und Werkstoff**, Berlin, v. 59, n. 4, p. 272-275, 2001.

GATCHELL, C.J.; HEEBINK, B.G.; HEFTY, F.V. Influence of components variables on properties of particleboard for exterior use. **Forest Products Journal**, v. 16, n. 4, p. 46-59, 1966.

GILMAN, Edward F. e WATSON, Dennis G. *Pinus elliottii* - Fact Sheet ST-463. [Gainesville]: United States Forest Service-Environmental Horticulture Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Oct. 1994. 4 p.

GINZEL, W., PERAZA, C. **Tecnología de tableros de partículas**. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966. 187 p.

GOLDSTEIN, I. S. Overview of the chemical composition of wood. p. 1-5 1991. In: **International Fiber Science and technology**, Proceedings, v. 11, 1991, 488p.

GORSKI, L. **Painéis de partículas orientadas (OSB) da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus benthamii***. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014.

GRIGORIOU, A. Comparisons between médium density fibreboard and particleboard. **Holz als Roh und Werkstoff**, v. 41, n.5, p. 183-186, 1983. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM/.

GRUBERT, W. **Utilização de feixes de fibras de Pinus spp. e partículas de polietileno de baixa densidade (PEBD) para produção de painéis aglomerado**. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, 2014.

HANN, R. A.; BLACK, J. M.; BLOMQUIST, R. F. How durable is particleboard? Part II – The effect of temperature and humidity. **Forest Products Journal**, v. 13, n. 5, p. 169-175, 1963.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden) e embaúba (*Cecropia sp.*)**. Viçosa, 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa.

HASELEIN, C. R.; CALEGARI, L.; BARROS, M. V.; HACK, C.; HILLIG, E.; PAULESKI, D. T.; POZZERA, F. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134. 2002.



HASELEIN, C. R.; PAULESKI, D. T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I**. Santa Maria: Imprensa Universitária. 82p. 2003.

HEEBINK, B. G. Wax in particleboards. In: Symposium on Particleboard, 1 st **Proceedings**, Washington State University, 1967, p. 251-268.

HEDLUND, T. de A. **A redução dos impactos ambientais como proposta para o desenvolvimento de luminária a partir de resíduos de MDF**. Monografia - Bacharel em Design de Produto. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – Ijuí; Rio Grande do Sul, 2013.

HIGA, A. R.; KAGEYAMA, P. Y. & FERREIRA, M. - 1973 - Variação da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e *Pinus taeda*. **IPEF**, Piracicaba, (7): 79-91

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

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia- negra. **Ciência Florestal**, v. 12, n.1, p. 59-65, 2002.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de *Pinus***. Curitiba, 1989. 129p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.

IWAKIRI, S.; KEINERT JÚNIOR, S. Utilização de diferentes espécies do gênero *Pinus* para produção de painéis "waferboard". **IPEF**, n.43/44, p.65-69, jan./dez.1990

IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P. *et al.* Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais "waferboard". **Agrárias**, v. 14, n 1/2, p. 107 – 114, 1995.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A.B. da; ALBUQUERQUE, C.E.C.; GORNIK, E.; MENDES, L. M.. Resíduos de Serrarias na Produção de Painéis de Madeira Aglomerada de Eucalipto. **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 137-142, jan./dez. 2001.

IWAKIRI, S.; MENDES, L. M.; SALDANHA, L. K. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 46-52, jan./jun, 2004. a

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, J. DE C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGHER, C. A.; VENSON, I. E

LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.883-887, 2004. B

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. FUPEF. Curitiba, 2005a.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S. de; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. do R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005b  
IWAKIRI, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de; PRATA, J. G.; COSTA, A. C. B. Utilização de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas – OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n 2, p. 265 – 270, 2008.

IWAKIRI, S. STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L. DA.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

IWAKIRI, S. **Opiniões Sobre o Setor de Florestas Plantas – História, evolução, tecnologia e perspectivas**. Set – Nov, 2012. Disponível em  
<<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=859>>  
Acesso em: 01 de abril de 2014 a

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B.F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V.C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**. vol. 42(1) 2012: p. 59 – 64. B

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. DE; TRIANOSKI, R.; PRATA, J. G. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (CINAMOMO) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, jul./set. 2012. c

**IPEF – O *Pinus elliottii*, a goma resina e seus derivados.**  
Piracicaba: ESALQ-USP, 11 e 12 de maio de 1978.

JENSEN, U.; EMLER, R. The nature of the surfasse of milled MDF profiles. **Holz Zentralblatt**, v.122, n.21, 1996. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM/.

KELLY, M. W. A **critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.s. for. Prod. Lab. General Technical Report, 1977. 66 p.

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

KOCH, P. **Wood machining processes**. New York : The Ronald Press, 1964. 530 p.

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

KOLLMAN, F.F.P., CÔTÉ, W.A. **Principles of wood sciences and technology**. Berlin, SpringerVerlag, 1968.v.1.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. **Principles of wood science and technology II**. Wood based materials, 703p. New York, USA, 1975.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: Ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. [Tradução de Guilherme de Almeida Sedas e Gilberto Calcagnotto].- Rossdorf: TZ-Verl.-Ges, 1990. 343 p.

LIMA, C. K. P. **Avaliação da qualidade de juntas coladas da madeira de clones de *Eucalyptus***. 2006. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2006

LP Brasil - Louisiana Pacific, 2014 Disponível em  
<<http://www.lpbrasil.com.br/institucional/lpbrasil.asp>> Acesso em 03/12/2014.

LYNAN, F. C. Factors influencing the properties of wood chipboard. **Wood**. N. 24, p. 18 – 20, 1959

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001, 115p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman, 1989. 672p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARCHIORI, J. N. C. Influência da estrutura anatômica na secagem da madeira. **I Seminário sobre secagem de madeira**. Santa Maria : UFSM, CEPEF : FATEC, 1992. 100 p.

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

MARTO, G.B.T.; BARRICHELO, L.E.G.; MULLER, P.C.H. **Indicações para a escolha de *Pinus***. Disponível em [http://www.ipef.br/silvicultura/escolha\\_pinus.asp](http://www.ipef.br/silvicultura/escolha_pinus.asp). Acesso em: 10 out. 2006.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais**. Curitiba: 1988. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1988.

MATTOS, R. L. G., GONÇALVES, R. M., CHAGAS, F. B., **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. BNDS Setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121 – 156, mar 2008.

MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J.R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. Congresso Regional De Iniciação Científica e Tecnológica, XVIII, 2003, Blumenau, SC. **Anais...** Blumenau, 2003. Disponível em:  
<<http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2003/CRICTE>> Acesso em: 02/02/2012.

MELO, R. R. DE; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, out.-dez., 2009

MENDES, L. M. ***Pinus spp.* na produção de painéis de partículas orientadas**. Curitiba, 2001. 156p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Ciências Agrárias. UFPR, Paraná, 2001.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. OSB: um anova opção no mercado de painéis de madeira. In: **Seminário de industrialização e usos de madeira de reflorestamento**, 2.; 6 Simpósio Florestal do Rio Grande do Sul, Encontro Brasileiro de Técnicas para Habitação e Estruturas, 6., 2001. Caxias do Sul. Caxias do Sul: UCS Gráfica, 2001. V. 1, p. 87-98.

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, 2010.

MENDES, R.F. **Efeitos do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2011. 116p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C. DOS; 4 CÉSAR, A. A. DA S.;. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, jan.-mar., 2012

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illionis: Southern Illionis University, 1974. v. 2, 245 p.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento**



**na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 235 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 1993.

NIEMZ, P.; POBLETE, H. Investigations on the dimensional stability of MDF and particleboards. **Holz als Roh und Werkstoff**, v.54, n.2, p.141-144, 1996. /Resumo em CAB Abstracts on CD-ROM/

OLANDOSKI, D. P. **Rendimento, resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas.** Curitiba, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO). In Infopédia [Em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2014. [Consult. 24/07/2014].

PAIT, J. A, FLINCHUM, D. M, LANTZ, C. W. **Species variation, allocation, and tree improvement.** In: Forest Regeneration Manual. London: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 207-231.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2005.

PEDRAZZI, C. *et al.*. Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 2, p. 201-212, abr./jun. 2006.

PELLENS, G. C. **Relatório de estágio final supervisionado na divisão MDP da Bonet indústria de papéis e madeiras**. Relatório final de Estágio Supervisionado apresentado para Avaliação ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Regional de Blumenau, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. Blumenau - SC. 2010.

PEREDO, M. **Tecnología de tableros de partículas**. Valdivia: Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile. n.24, 1991.

PEREIRA, G. F. **Comparação das propriedades físicas de painéis de madeira aglomerada de *Pinus patula* e *Pinus sp.* de origem industrial**. Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, 2014

PIERRE, F.C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* com adição de resíduos industriais madeireiros**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010

PIZZI, A. (Ed.) **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. 289 p.

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2006.

PRICE, E. W. Basic properties of full-size structural flakeboards fabricated with flakes on a shaping lathe. In: **Particleboard**, 11th Proceedings, Washington State University, 1977. p. 313-332.

RICHARDSON, D. M; RUNDEL, P. W. Ecology and biogeography of *Pinus*: an introduction. In: RICHARDSON, D. M., ed., **Ecology and biogeography of Pinus**, New York: Cambridge University Press. Cambridge, p.1-48, 1998.

ROFFAEL, E.; SCHNEIDER, A. **Untersuchungen über den Einflub von Kochsalz als Bindemittelzusatz auf Eigenschaften von Spanplatten**. Holz-Zentralblatt, Leinfelden, v. 109, n. 103, p. 1414-1415, 1983.

SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, PR. Pós-Graduação em Ciências Florestais. Irati, 2012.

SANTOS, R. C. DOS; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. Chapas de partículas aglomeradas produzidas

a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 437-446, dez. 2009

SANTOS, R.C. dos; MENDES, L.M.; CARNEIRO, A. de C.O.; MORI, F.A.; CASTRO, R.V.O.; MENDES, R.F. Utilização de resíduos da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.)). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 149-158, jan.-mar., 2011

SATIPEL. **Processo produtivo**. Disponível em: <[http://www.satipel.com.br/processo\\_produtivo.htm](http://www.satipel.com.br/processo_produtivo.htm)>. Acesso em 20 dez. 2005

SETUBAL, V. G. **Avaliação e reciclagem de chapas OSB utilizadas na construção civil**. Monografia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2009.

SILVA, G. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; FÁBIO AKIRA MORI, F. A.; SANTOS, I. F. dos; PÁDUA, F. A. de. Efeito de algumas variáveis de processamento nas propriedades físicas de painéis de madeira de partículas alongadas. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 1, p. 51-60 2006.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. Canadá: Van Nostrand Reinhold, 3.ed. 1990. 779 p.

SHIMIZU, J. Y. Seleção Fenotípica de *Pinus elliottii* Engelm. Var. *elliottii* no viveiro e seus efeitos no crescimento. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 1, p. 19-27, dez. 1980.

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do *Pinus***. [online]. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>>. Consultado em 18/10/2006.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando a geração de produtos de alto valor agregado**. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SMITH, David C. The generation and utilization of residuals from composite panel products. **Forest Products Journal**, v. 54, n.2, p. 8-17, fev. 2004.

SOUZA, K. B.; ALMEIDA, K. N. S. ; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; GUIMARÃES NETO, R. M. Comparação das propriedades físicas de painéis aglomerados de *Pinus* de origem industrial e laboratorial. **Scientia Plena**, vol. 8, num. 4, 2012.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science**. The Ronald Press Company – New York, 1964, 549p.

SUCHSLAND, O; LYON, D.E.; SHORT, P.E. Selected properties of comercial médium-density fiberboards. **Forest Products Journal**. V.28, n.9, p. 45-48, Sep. 1978.

SUCHSLAND O, WOODSON GE. **Fiberboard manufacturing practices in the United States**. USDA Forest Service 1986; 112-158.

SUDATI. Disponível em

<[https://www.google.com.br/search?q=sudati+otacilio+costa&newwindow=1&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=zvYWVNarJND3yQSy\\_oHoCw&ved=0CAgQ\\_AUoAQ#facrc=\\_&imgdii=\\_&imgsrc=q7Fzp8wsISs0EM%253A%3BNxD95HkE8EpCuM%3Bhttp%253A%252F%252Fsudati.com.br%252Fwp-content%252Fuploads%252F2013%252F11%252FDSC\\_17293.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fsudati.com.br%252Fgrupo-sudati%252Fa-sudati%252F%3B640%3B428](https://www.google.com.br/search?q=sudati+otacilio+costa&newwindow=1&biw=1366&bih=667&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=zvYWVNarJND3yQSy_oHoCw&ved=0CAgQ_AUoAQ#facrc=_&imgdii=_&imgsrc=q7Fzp8wsISs0EM%253A%3BNxD95HkE8EpCuM%3Bhttp%253A%252F%252Fsudati.com.br%252Fwp-content%252Fuploads%252F2013%252F11%252FDSC_17293.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fsudati.com.br%252Fgrupo-sudati%252Fa-sudati%252F%3B640%3B428)> Acesso em 15 de setembro de 2014.

SUZUKI, S., MIYAMOTO, K. Effect of manufacturing parameters in the linear expansion and density profile of particleboard. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v.44, n.6, p.444-450, 1998.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação dos conceitos da ecologia industrial para a produção de painéis ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira**. Salvador, Bahia: [s.n.], 2005. 159 p.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TORQUATO, L.P.; **Estudo do Mercado Espanhol de Painéis Isolantes**. ISOROY – Grupo SONAE Indústria. UFPR. Curitiba, 2004.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos Painéis MDF Comerciais Produzidos no Brasil**. 2008. 22,23 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UFPR, Curitiba. 2008.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood. Structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991.494p.

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

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. DE; PRATA, J. G. Avaliação de espécies alternativas de rápido crescimento para produção de painéis de madeira aglomerada de três camadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 097-104, mar. 2011

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. DE; PRATA, J. G. Viabilidade da utilização de *Acrocarpus fraxinifolius* em diferentes proporções com *Pinus* spp. para

produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 343-350, set. 2011 b

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. DE; CHIES, D. Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis aglomerados. **Scientia Forestalis**, volume 41, n. 97. p.057-064, março de 2013

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE The Southern Pines: An American Wood United States. Department of Agriculture FS-256 11p. 1985.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE **Wood Handbook: wood as an engineering material**. Washington: U. S. Government Printing Office, 1999. 466 p.

VIEIRA, M. C., BRITO, E. O., GONÇALVES, F. G.. Evolução Econômica do Painel Compensado no Brasil e no Mundo. **Floresta e Ambiente** 2012; 19(3):277-285

VITAL, B. R. **Effects of species and panel densities on properties of hardwood particleboard**. Madison, 1973. 111 p. Thesis (Master of Science – Forestry) – University of Wisconsin

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.



VITAL, B. R.; WILSON, J. B. Efeito da forma geométrica dos flocos e partículas, da densidade das chapas e do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas das chapas de madeira aglomerada. **Árvore**, v. 4, n. 2, p. 179-187, 1980.

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

XAVIER, J. A.; MATOS, J. L. M.; TRIANOSKI, R. Variabilidade da massa específica 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.

XU, H.; SUCHSLAND, O. The expansion potential: a new evaluator of the expansion behavior of wood composites. **Forest Products Journal**, v. 41, n.6, p.39-42, Jun. 1991

ZEGARRA, B.E.V. **Caracterização anatômica e da densidade do lenho de árvores de *Pinus taeda* efeito nas propriedades tecnológicas dos painéis OSB**. 2011. 122p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ZENID, G. J. *et al.* **Madeira : uso sustentável na construção civil**. São Paulo : Instituto de Pesquisas Tecnológicas : SVMA, 2009. pg 28. -- (Publicação IPT ; 3010).

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados** . Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Curitiba. 2011

WU, Q. Application of Nelson's sorption isotherm to wood composites and overlays. **Wood and Fiber Science**, v.28, n.2, p.227-239, 1999.