

**UNIVERSIDADE ESTADUAL “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CÂMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA**

**Cristiane Karyn de Carvalho Araújo**

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS  
DA CAMADA INTERNA NAS PROPRIEDADES DE  
PAINÉIS PARTICULADOS DE TRÊS CAMADAS.**

**Itapeva – SP**

**2016**

**CRISTIANE KARYN DE CARVALHO ARAÚJO**

**INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS  
DA CAMADA INTERNA NAS PROPRIEDADES DE  
PAINÉIS PARTICULADOS DE TRÊS CAMADAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado no Campus Experimental de  
Itapeva– Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho”, como requisito  
para conclusão do curso de Engenharia  
Industrial Madeireira.

Orientador: Prof. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de  
Campos

**Itapeva – SP**

**2016**

Araújo, Cristiane Karyn de Carvalho.  
A659i      Influência da geometria das partículas da camada interna nas propriedades de painéis particulados de três camadas / Cristiane Karyn de Carvalho Araújo. -- Itapeva, SP, 2016  
51 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2016

Orientadora: Cristiane Inácio de Campos

Banca examinadora: Marília da Silva Bertolini, Bruno Santos Ferreira

Bibliografia

1. Compensados de madeira. 2. Chapa de madeira aglomerada. 3. Partículas. I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva. II. Título.

CDD 674.83

*Ao Deus onipotente, por me proporcionar esta grande oportunidade, e me auxiliar nos momentos de maiores dificuldades, dando forças para continuar batalhando pelo meu sonho. E aos meus pais e irmãs por sempre me apoiar em tudo.*

#### **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar mais esta conquista em minha vida, me dando forças para enfrentar as grandes dificuldades de cada semestre. Proporcionando ânimo para batalhar pelo meu sonho, nunca me deixando desamparada, percebi também que o impossível para mim é possível para o meu Deus, podendo eu provar disto várias vezes nestes anos, onde eu não via mais oportunidade, de repente ela surgia. Em todas as ocasiões pude sentir o amor de Deus em minha vida, sempre me dando calma e paciência para enfrentar os meus erros e concertá-los.

Também agradeço aos meus queridos pais, Nilton e Claudinéia, pelo incentivo, pela educação a mim proporcionada, onde pude observar que a mesma é à base de tudo em minha vida. Agradeço por tudo o que fizeram por mim, por todo o esforço, muitas das vezes deixando de lado seus sonhos para que o meu se tornasse realidade. Pelo carinho e compreensão nos momentos ruins que passei, pelo amor que sempre me demonstraram nos momentos de alegrias e tristeza e sem ânimo de enfrentar minhas dificuldades e, pelas palavras consoladoras que me apoiavam quando algo dava errado me fazendo acreditar que tudo daria certo.

As minhas queridas irmãs, Sâmella, Sâmique e Camilla que sempre acreditaram em mim, pela paciência que tiveram comigo pelo ombro amigo onde eu sabia que poderia recorrer que sempre havia alguma palavra que me faria esquecer a dificuldade e seguir em frente, pela ajuda concedida e pelos momentos de descontração mesmo na hora dos estudos, por tudo mesmo. Aos meus cunhados, Bruno e Rafael, pela compreensão e paciência, sempre me fazendo rir, e dizendo também já passei por isso, pela ajuda e carinho demonstrado.

A professora Dr<sup>a</sup>. Cristiane Inácio de Campos pelo tempo disponibilizado a mim, pela dedicação em tirar todas as minhas dúvidas e sempre disposta a me ajudar nas dificuldades que se apresentavam, pela compreensão e ajuda.

Ao Rafael pela ajuda na tradução do resumo.

A todos os professores, amigos e colegas e aos técnicos Brito e Alex que de certa forma contribuíram para que este momento se tornasse possível.

“Posso todas as coisas naquele que me fortalece”.

(Filipenses, 4:13)



## RESUMO

Recentemente, estudos indicam que a demanda por produtos compósitos de madeira, tais como compensado, chapa de lascas orientadas, chapa dura, aglomerado, chapa de fibra de média densidade e chapas compostas de lâminas cresceram substancialmente em todo o mundo. O objetivo deste trabalho foi produzir painéis MDP (Painel de Média Densidade) com três porcentagens de granulometria de partículas na camada interna e, assim verificar a influência das composições nas propriedades físicas e mecânicas. Os painéis foram produzidos compostos por três camadas, sendo as camadas externas, inferior e superior, com composição de 20% de partículas de 35 e 60 *mesh*, totalizando 40% da composição do painel, e variando a porcentagem granulométrica das partículas constituintes da camada interna, com os 60% restantes das partículas, sendo estas de 9 e 16 *mesh*. A produção dos painéis aconteceu no Laboratório de Propriedades dos Materiais da Unesp, Campus Experimental de Itapeva. A caracterização físico-mecânico foi realizada com base em documento normativo da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT-NBR 14810-2/2013. Os dados obtidos nos testes físicos e mecânicos foram dispostos em tabelas e foi realizada a análise estatística, comparados com dados da literatura e Norma técnica. Dos três tratamentos obtidos, o Tratamento 1 (30% de 9 *mesh* e 70% de 16 *mesh*) na camada interna apresentou resultados superiores em todos os testes, possivelmente devido a menor quantidade de vazios em sua camada interna e maior área superficial de contato entre as partículas. Os Tratamentos 2 e 3 na maioria dos testes realizados não atenderam as especificações normativas. Pode-se observar que a razão de esbeltez não teve influência nos resultados obtidos nos ensaios físico-mecânico.

Palavras - chave: MDP, Painel, Partículas.

## **ABSTRACT**

Recent studies indicate that the demand for composite wood products such as plywood, oriented sheet chips, hardboard, particleboard, medium density fiberboard, and composite plates blades substantially increased worldwide. The objective of this work was to produce MDP (Medium Density Panel) with three particles of grain size percentages in the inner layer and thus verify the influence of the compositions in the physical and mechanical properties. The panels were produced consisting of three layers, with the outer bottom and top layers with composition of 20% particles from 35 to 60 mesh, amounting to 40% of the panel composition and varying the particle size percentage of the constituent particles of the inner layer, the remaining 60% of the particles, which are 9 to 16 mesh. The production of panels took place in the Materials Properties Laboratory of Unesp, Campus Experimental de Itapeva. The physical-mechanical characterization was based on normative document of the Brazilian Association of Technical Standards ABNT NBR 14810-2 / 2013. The data on the physical and mechanical tests were arranged in tables and statistical analysis was performed, compared with the standard and technical literature data. Of the three treatments obtained, Treatment 1 (30% 9 mesh and 70% 16 mesh) in the inner layer exhibiting superior results in all tests, possibly due to less amount of voids in its inner layer and greater surface area of contact between particles. Treatments 2 and 3 in most tests did not meet the normative specifications. It can be seen that the slenderness ratio did not influence the results obtained in the physico-mechanical tests.

Keywords: MDP, Panel, Particle.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição das partículas no colchão .....	6
Figura 2- Cavaco .....	8
Figura 3- Serragem.....	9
Figura 4- Maravalha.....	9
Figura 5: Processo de produção de painéis particulados .....	12
Figura 6- Painéis de MDP com revestimento.....	16
Figura 7- MDP sem revestimento. ....	16
Figura 8: Aplicações .....	17
Figura 9: Modelo de picador .....	21
Figura 10: Moinho para processamento secundário.....	21
Figura 11- Peneira vibratória .....	22
Figura 12- Diferenças de granulometrias.....	22
Figura 13- Micrômetro digital .....	23
Figura 14- Estufa .....	24
Figura 15- Separação das partículas.....	24
Figura 16- Colchão de partículas destacando as camadas externas e internas .....	25
Figura 17- Adesivos e Aditivos .....	27
Figura 18- (A) Batedeira Industrial                      (B) Partículas encoladas .....	28
Figura 19- Formação do colchão .....	28
Figura 20- Pré-prensagem.....	29
Figura 21- Painel após pré-prensagem.....	29
Figura 22- Prensa Hidráulica .....	30
Figura 23- Painel após prensagem.....	30
Figura 24- Corpos de prova, ensaio físico e mecânico.....	31
Figura 25- Corpo de prova colado nas sapatas.....	34
Figura 26- Ensaio de Adesão interna .....	35
Figura 27- Ensaio de flexão estática.....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Tratamentos e porcentagens de material .....	25
Tabela 2- Materiais e gramaturas utilizadas para cada painel .....	26
Tabela 3- Composição da camada externa e interna .....	26
Tabela 4- Quantidade de partículas utilizadas em cada tratamento .....	27
Tabela 5- Razão de esbeltez .....	38
Tabela 6- Resultados de ensaios físicos para os três tratamentos.....	38
Tabela 7- Resultados de ensaios mecânicos para os três tratamentos.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a
Agricultura	
HDF	Painel de fibras de alta densidade
MDF	Painel de fibras de média densidade
MDP	Painel de partículas de Média Densidade
NBR	Normas Brasileiras
RE	Razão de Esbeltez
OSB	Painel de lascas orientadas

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Painéis de Madeira Aglomerada .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 MDP (Medium Density Particleboard).....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 Matéria-prima.....</b>	<b>7</b>
3.3.1 Madeira.....	7
3.3.2 Geometria das partículas.....	8
3.3.3 Razão de esbeltez .....	9
3.3.4 Razão de compactação .....	10
3.3.5. Adesivos e Aditivos.....	11
<b>3.4 Processo de produção de Painéis particulados (Aglomerado).....</b>	<b>12</b>
3.4.1 Geração de partículas .....	13
3.4.2 Secagem .....	13
3.4.3 Classificação.....	13
3.4.4 Aplicação do adesivo .....	14
3.4.5 Formação do colchão .....	14
3.4.6 Pré-prensagem e Prensagem.....	15
3.4.7 Acabamento.....	15
<b>3.5 Características, propriedades e aplicações do painel de MDP ...</b>	<b>16</b>
<b>3.6 Influência da geometria das partículas nas propriedades físico- mecânicas dos painéis.....</b>	<b>18</b>
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Materiais.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Gerações de partículas.....</b>	<b>20</b>
4.3.1 Preparação e encolagem das partículas .....	27
4.3.2 Pré - prensagem e Prensagem.....	29
<b>4.4 Caracterização dos painéis .....</b>	<b>30</b>
4.4.1 Caracterização Física .....	31
4.4.1.1 Teor de umidade .....	31

4.4.1.2 Densidade .....	32
4.4.1.3 Inchamento e Absorção .....	33
4.4.2 Caracterização Mecânica .....	34
4.4.2.1 Resistência à tração perpendicular ou adesão interna .....	34
4.4.2.2 Flexão Estática.....	35
<b>4.5 Análise Estatística.....</b>	<b>37</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
5.1 Razão de esbeltez .....	37
5.2 Ensaio Físicos .....	38
5.3 Ensaio Mecânicos .....	40
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>41</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>42</b>

## INTRODUÇÃO

O segmento florestal tem apresentado destacado crescimento nas últimas décadas a partir de inovações tecnológicas e desenvolvimento de novos produtos e materiais. Em paralelo a isso, a geração de resíduos ainda é um problema para o segmento, pois embora as novas tecnologias apresentem maquinários mais modernos, o volume gerado ainda é bastante significativo.

Com a expressiva geração de resíduos nas indústrias de base florestal, surge à necessidade de utilizar tais resíduos de modo a agregar valor aos mesmos e minimizar o impacto ambiental proporcionado. Com base nos dois aspectos apresentados a fabricar produtos a partir dos resíduos gerados pelo segmento florestal aparece como uma proposta viável no aspecto econômico, devido ao menor custo da matéria-prima e ambiental, a partir do uso dos resíduos antes descartados de forma indiscriminada. A proposta de utilizar resíduos de madeira para o desenvolvimento de produtos lignocelulósicos tem a finalidade de utilizar estes materiais como matéria-prima, não se esquecendo da qualidade final do produto gerado. Neste segmento de novos materiais à base de madeira utilizando resíduos como fonte de matéria-prima pode-se destacar os painéis, principalmente, particulados e de fibras.

Os painéis particulados e de fibras produzidos a partir de resíduos de madeira apresentam possibilidade de aplicações em diversos segmentos, podendo-se destacar a indústria moveleira e a construção. No entanto, sabe-se que o desempenho dos produtos a partir da reutilização de matérias-primas traz algumas limitações ao produto final. Sabe-se que a qualidade do novo produto nem sempre terá as propriedades do produto produzido com matéria-prima proveniente de florestas plantadas, onde o controle e qualidade da madeira são maiores e melhores para o desempenho final do produto.

Embora o desempenho do produto a partir dos resíduos de madeira seja menor não impede que o mesmo seja utilizado em algumas aplicações que requerem menores solicitações, especialmente, quanto ao desempenho mecânico.

Com base nos aspectos apresentados anteriormente é que surge a proposta deste estudo que foi produzir painel particulado de madeira composto

por três camadas a partir de resíduos de eucalipto gerados no processamento mecânico da madeira, variando a granulometria da matéria-prima constituinte da camada intermediária de modo a avaliar a influência das composições estudadas e possíveis aplicações para estes painéis.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo principal deste projeto foi produzir e caracterizar painéis particulados de média densidade produzidos com resíduos de madeira *Eucalyptus.sp*, variando as porcentagens de partículas de duas diferentes granulometrias que constituem a camada interna do painel.

### **2.1 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos deste projeto de pesquisa são:

- Determinação da razão de esbeltez das partículas que constituem a camada interna e externa;
- Produção dos painéis particulados compostos por três camadas, com variação na porcentagem granulométrica na camada interna em três diferentes composições, sendo elas: 30% de partículas de 9 mesh e 70% de partículas de 16 mesh, 50% de partículas de 9 mesh e 50% de partículas de 16 mesh e, por fim, 70% de partículas de 9 mesh e 30% de partículas de 16 mesh;
- Caracterização físico-mecânica com base na ABNT-NBR 14810-2:2013;
- Análise estatística dos resultados obtidos no presente estudo;
- Comparação dos resultados obtidos com normas vigentes e trabalhos encontrados na literatura.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os produtos de madeira vêm se destacando por sua grande versatilidade, com isso vários produtos surgem para atender a grande demanda, principalmente, no setor moveleiro, assim como na construção civil. Com isso desenvolveu-se produtos florestais, tais como os painéis. Tendo em vista o melhor aproveitamento da madeira proporcionado na produção dos painéis, evitando excesso de desperdício de matéria-prima, os mesmos se apresentam como alternativa interessante ao mercado.

No segmento dos painéis à base de madeira podem-se destacar os painéis: MDP (painéis de média densidade), MDF (painéis de fibras de média densidade), de madeira compensada, OSB (painéis de lascas orientadas), e HDF (painéis de fibras de alta densidade).

Segundo Youngquist (1999), os painéis podem ser divididos em três principais grupos, sendo:

- Lâminas - chapa de madeira compensada (plywood), chapa de madeira sarrafeada, e LVL (laminated veneer lumber);
- Partículas – chapa de madeira aglomerada (particleboard), chapa de “tiras” de madeira não orientadas (WB - waferboard ), chapa de “tiras” de madeira orientadas (OSB – oriented strand board), OSL (oriented strand lumber) e LSL (laminated strand lumber);
- Fibras - chapa de fibra isolante (IC), chapa dura de fibra e chapa de alta densidade (HD – hardboard) e chapa de fibra de média densidade (MDF).

Sellers (2000) destaca que a demanda por produtos compósitos de madeira, tais como compensado, chapa de lascas orientadas, chapa dura, aglomerado, chapa de fibra de média densidade e chapas compostas de lâminas recentemente cresceu substancialmente em todo o mundo.

De acordo com um relatório emitido pela FAO (2013), o consumo de madeira aumentou consecutivamente pelo quarto ano. A produção de painéis de madeira atingiu  $358 \times 10^6$  metros cúbicos, obtendo assim um aumento de 7,8%.

#### 3.1 Painéis de Madeira Aglomerada

A produção de painéis de madeira aglomerada teve início na década de 1940 na Alemanha, visando à utilização dos resíduos industriais de madeira. Devido à falta de matéria - prima para a fabricação do adesivo, foi paralisada a elaboração dos painéis. (IWAKIRI, 2005)

O painel de madeira aglomerada é produzido com partículas de madeira, inclusão de adesivo sintético e consolidados através da aplicação de pressão e calor na prensa à quente. Este painel pode ser dividido com base na densidade, partículas e distribuição (IWAKIRI, 2005).

#### I. Densidade

- Baixa densidade: limite de  $0,59 \text{ g/cm}^3$ ;
- Média densidade: de  $0,59 \text{ g/cm}^3$  a  $0,80 \text{ g/cm}^3$ ;
- Alta densidade: superior a  $0,80 \text{ g/cm}^3$ .

#### II. Partículas

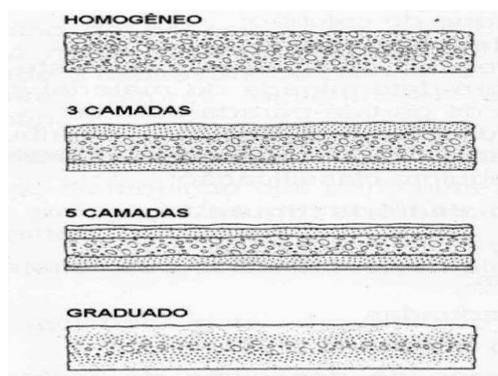
- Aglomerado convencional: tipo “sliver”;
- Painéis de partículas “flake”: “flakeboard”- partículas retangulares;
- Painéis de partículas “wafer”: “waferboard”- partículas aproximadamente quadradas;
- Painéis de partículas “strand”: “strandboard”;

#### III. Distribuição das partículas nas chapas

- Homogêneos
- Múltiplas camadas
- Camadas Graduadas
- Orientadas

A Figura 1 apresenta a distribuição das partículas na formação do colchão.

Figura 1- Distribuição das partículas no colchão



Fonte: Moslemi (1974).

### 3.2 MDP (Medium Density Particleboard)

MDP é a abreviação de *Medium Density Particleboard*, ou seja, chapa de partículas de média densidade. O MDP é o resultado do uso intensivo de tecnologia de prensas contínuas, de modernas tecnologias de classificadores de partículas, fazendo uso de resinas de última geração e madeira de florestas plantadas. O MDP faz parte da nova geração de Painéis de Partículas de Média Densidade, onde suas características são superiores e totalmente distintas dos painéis de madeira aglomerada de antigamente (REMADE, 2006).

O produto representa uma evolução tecnológica do aglomerado convencional. Uma das suas principais características é a qualidade superior que apresenta em relação aos antigos painéis de madeira aglomerada (REMADE, 2006).

No painel de MDP, as partículas são posicionadas de forma diferenciada, as de maiores dimensões dispostas ao centro e as de menores nas superfícies externas, compondo assim as três camadas do painel. As partículas são aglutinadas com resina sintética, e compactadas através de pressão e temperatura em prensa contínua. Os painéis são produzidos com madeira de reflorestamento, tais como, *Pinus* e *Eucalyptus* (Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira, 2010).

### 3.3 Matéria - prima

Segundo Iwakiri (2005), os insumos básicos usados na produção de chapa de partículas de média densidade (MDP) são: madeira, resina e catalisador. Outros componentes também podem ser usados na produção dos painéis, sendo emulsão de parafina, retardantes de fogo, preservantes contra fungos e insetos. Estes aditivos são adicionados para melhorar as propriedades do painel para determinadas aplicações, ou seja, aplicações específicas.

#### 3.3.1 Madeira

Segundo Maloney (1993), a madeira utilizada na produção de painéis particulados é um dos fatores mais importantes, sendo que esta influencia na qualidade e defeito do produto final.

A espécie de madeira deve possuir baixa densidade, para que a razão de compactação seja de no mínimo 1,3 para que a densificação necessária do painel ocorra. Atualmente, as madeiras mais usadas para a fabricação de painel particulado são as de reflorestamento, sendo estas *Pinus* e *Eucalipto* (IWAKIRI, 2005).

As espécies de coníferas são as mais utilizadas, pois apresentam baixa densidade. Já as folhosas de média densidade não são tão usadas, podendo ser misturadas com espécies que apresentam baixa densidade (IWAKIRI, 2005).

A segunda característica importante da madeira é a acidez, sendo que esta influencia na cura da resina e na escolha do catalisador a ser utilizado. A acidez da madeira é medido em pH e capacidade tampão. O pH mede o grau específico de atividade ácida da madeira, já a capacidade tampão mede a resistência da madeira para mudar o nível de pH. Uma espécie que apresenta pH baixo tende a acelerar o processo de cura da resina, resultando no processo denominado pré-cura da resina na fase de compressão das partículas, comprometendo a qualidade de colagem do painel (IWAKIRI, 2005).

Outro ponto a considerar são os extrativos presentes na madeira, sendo estes taninos, corantes, óleos essenciais, ácidos graxos, resina, cera, entre outros. A qualidade e quantidade desses extrativos podem gerar problemas no

consumo e cura da resina, e ocorrência de bolhas. Devem-se controlar os extrativos na escolha da espécie da madeira. (IWAKIRI, 2005).

### 3.3.2 Geometria das partículas

A resistência mecânica de uma chapa é afetada pela geometria das partículas, tais como nos testes de flexão estática, tração paralela e perpendicular à superfície da chapa. As partículas que apresentam comprimentos muito grandes geram problemas na secagem, aplicação de adesivo, e formação do colchão, pois se tornam volumosas, entopem equipamentos, dificultam o transporte do material, no entanto, o painel com essas partículas apresentam propriedades melhores.

Segundo Gonçalves et al. (2000), as partículas são classificados quanto a sua geometria como:

- Cavacos: são partículas longas e espessas, seus tamanhos variam de 5 a 50 mm, podendo ser com ou sem casca, obtidas por picadores no corte de madeiras descartadas. A Figura 2 demonstra as partículas denominadas cavaco (GONÇALVES et al., 2000).

Figura 2- Cavaco



Fonte: Lippel

- Serragem: são partículas curtas e finas, obtidas devido o corte de toras e retirada de costaneiras com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm. A Figura 3 apresenta as partículas denominadas serragem.

Figura 3- Serragem



Fonte: Blasco Biomassa.

- Maravalha: são denominadas como partículas longas e finas, variando a largura, obtidas pelo fresamento de peças de madeira e que apresentam dimensões maiores que 2,5 mm. A Figura 4 apresenta as partículas denominadas maravalha.

Figura 4- Maravalha.



Fonte: Mater maravalha.

### 3.3.3 Razão de esbeltez

As partículas que apresentam maior comprimento são as melhores para a qualidade do painel, no entanto, as partículas de menor comprimento apresentam melhor qualidade superficial, dureza e melhores ligações internas (IRLE, 2012).

Segundo IWAKIRI (2005), a razão de esbeltez é a relação entre o comprimento e espessura das partículas, e possui grande influência na qualidade do painel.

A razão de esbeltez elevada proporciona ao painel menor absorção de água, inchamento em espessura e menor expansão linear, levando ao painel obter melhor estabilidade dimensional.

A geometria das partículas apresenta grande influência nas propriedades finais do painel, juntamente com as espécies da madeira, quantidade de adesivos e aditivos.

As partículas menores são usadas nas camadas superiores e inferiores do painel de partículas, onde as mesmas são aglutinadas com resinas especiais. Essas promovem uma influência significativa na qualidade superficial dos mesmos, e as partículas maiores são usadas no centro do painel, onde as mesmas fornecem melhor resistência mecânica ao painel. Caso se mantenha a espessura da partícula, e se aumente o comprimento médio de sobreposição, conseqüentemente aumenta-se a relação entre o comprimento da partícula e a espessura (razão de esbeltez –  $s$ ). Os valores de razão de esbeltez devem variar entre 120 a 200 para partículas das camadas externas, e de 60 para partículas da camada interna (IWAKIRI, 2005).

#### **3.3.4 Razão de compactação**

A razão de compactação é a relação existente entre a massa específica do painel e da madeira utilizada. Esta razão apresenta o grau de densificação do material. A espécie de madeira para obter boa razão de compactação deve ser de baixa densidade. O valor adequado da razão de compactação para a produção de painel particulado encontra-se na faixa de 1.3 a 1.6, por isso as espécies de menor densidade são as mais recomendadas. Os valores acima de 1.6 melhoram as propriedades de resistência, no entanto, o inchamento em espessura será maior, pelo fato da compressão existente sobre o painel na fase de prensagem (REMADE, 2006).

A densidade tem uma influência significativa sobre as propriedades das chapas e, também, no processo de produção. As chapas de partículas feitas com espécies de baixa densidade têm maior resistência à flexão, módulo de elasticidade, adesão interna e resistência à tração, já que apresentam maior qualidade de colagem. Para que as chapas produzidas com madeira de alta densidade possuam a mesma resistência que uma produzida com madeira de menor densidade deve-se aumentar obrigatoriamente a densidade da chapa, e isto implica em chapas com maior peso para o mesmo nível de resistência (IWAKIRI, 2005).

### 3.3.5 Adesivos e Aditivos

Podem se destacar como as principais resinas sintéticas usadas na indústria de painéis, Uréia-Formaldeído sendo a mais predominante, seguido de Fenol-Formaldeído e Melamina-Formaldeído (MALONEY, 1993). Sendo definidas:

- **Ureia-formaldeído:** resina produzida em solução aquosa contendo sólidos entre 60 % e 70%, ou em forma de pó. Sua coloração é branca leitosa, seu pH se encontra na faixa de 7,4 a 7,8 e viscosidade na faixa de 400 a 1000 cP. Apresenta custo inferior em relação às outras resinas. Sua desvantagem é a baixa resistência à umidade, utilizada então em locais onde a umidade é a mínima possível, uso interno (Iwakiri, 2005).
- **Melamina-formaldeído:** Utilizada como uso intermediário, pois possui maior resistência à umidade em relação à ureia-formaldeído. Sua coloração também é branca leitosa, podendo ser utilizada como fortificante se quando misturada com ureia-formaldeído. O pH encontra-se em torno de 9 e a temperatura de cura entre 65°C a 130°C (Iwakiri, 2005).
- **Fenol-formaldeído:** Classificado para uso exterior, pois possui alta resistência à umidade. Sua coloração é marrom avermelhada, seu teor de sólidos encontra-se entre 48 e 51%, pH variando de 11 a 13, e viscosidade entre 300 e 600 cP e sua temperatura de cura na faixa de 130 a 150 °C (Iwakiri, 2005).

### Catalisador

Produtos a base de amônia, usados para acionar a pré-condensação e acelerar a velocidade de cura do adesivo. Na maioria dos casos são misturados na resina antes da pulverização (MALONEY, 1993).

## Emulsão de parafina

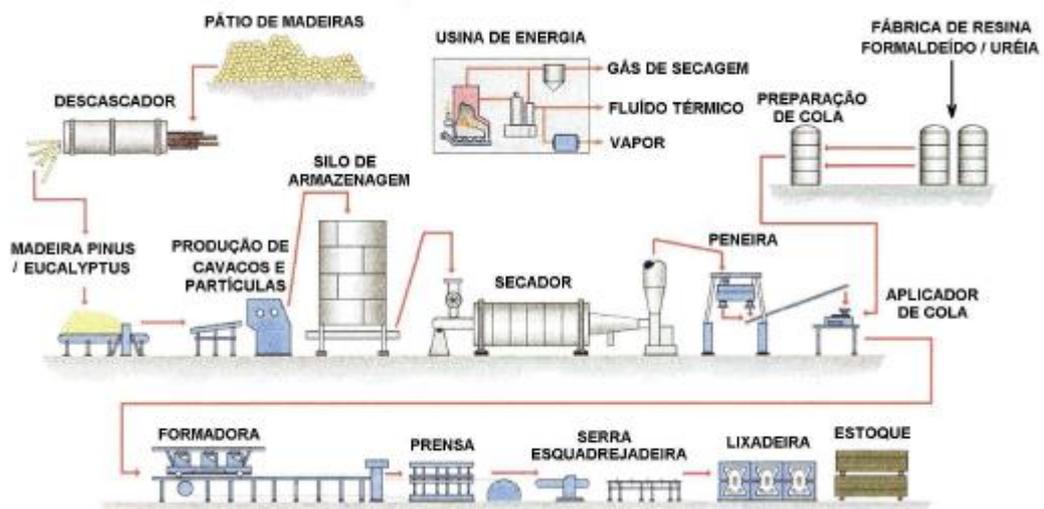
A emulsão de parafina tem como objetivo a redução da higroscopicidade das partículas e melhora da estabilidade dimensional. Ela forma um filme hidrorrepelente e antiaderente. A quantidade é baseada em 1% do peso sólido do adesivo (IWAKIRI, 2005).

A escolha da emulsão de parafina depende da utilização do painel, condições de compatibilidade da resina, custo mecânico, entre outros (MALONEY, 1993).

### 3.4 Processo de produção de Painéis particulados (Aglomerado)

O processo de produção de painéis particulados de madeira apresenta muitas etapas e as mesmas são decisivas nas propriedades finais do painel. A Figura 5 apresenta todas as etapas do processo de produção de painéis particulados.

Figura 5: Processo de produção de painéis particulados



Fonte: Duratex, 2009.

O processo de produção de chapa particulada envolve as seguintes etapas: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de resina e aditivos químicos, formação do colchão, pré – prensagem, prensagem a quente, acabamento, classificação embalagem e armazenamento.

### **3.4.1 Geração de partículas**

Segundo Maloney (1993), a geração das partículas é a primeira etapa do processo de produção do painel, sendo que esta etapa pode ocorrer interna ou externamente a indústria. A madeira usada nesse processo se encontra na forma de toras, maravalhas, cavacos, resíduos de madeira, sendo reduzidas pelos equipamentos seguintes: picadores, moinhos, cepilhadores.

As toras, toretes, e resíduos de madeira são levados ao picador dimensionando-os em tamanhos menores. Logo os mesmos são levados até o moinho fragmentando ainda mais, tornando-as partículas menores.

Nesta etapa, a umidade em que a madeira se encontra é muito importante. O teor de umidade, abaixo de 35% dificulta no controle das geometrias das partículas, gerando grande quantidade de “finos”. Por outro lado, a madeira em condição saturada, tende a resultar no esmagamento da madeira. A faixa adequada de teor de umidade da madeira deve estar em 35% a 50% (IWAKIRI, 2005).

### **3.4.2 Secagem**

Após a geração das partículas, as mesmas precisam ser secas até atingirem o teor de umidade de 2% e 8%, e o tempo de secagem depende da densidade da madeira. Quanto maior a densidade maior será o tempo. O tempo de secagem varia de 1 a 3 minutos (IWAKIRI, 2005; IRLE, 2012).

### **3.4.3 Classificação**

Após a secagem das partículas, é realizada a classificação. As dimensões adequadas são separadas para utilização, e os finos e impurezas descartados. As partículas que possuem dimensão menor são utilizadas para a camada externa e as maiores para a interna.

Os métodos utilizados para a classificação das partículas são:

- Pneumático: As partículas são classificadas pelo peso.
- Peneira vibratória: Classificam as partículas em função das dimensões.

As peneiras são alocadas das maiores para as menores, ou seja, as

partículas maiores são retidas conforme sua dimensão e, as menores vão passando até serem retidas (IWAKIRI, 2005).

#### **3.4.4 Aplicação do adesivo**

Nos painéis de madeira aglomerada, dois fatores são importantes a se considerar:

- Recomenda-se que a quantidade de adesivo seja de cerca de 6% a 12% em relação ao peso das partículas seca. (BARROS FILHO, 2009).
- Deve-se manter a homogeneidade quanto à distribuição de adesivo sobre a superfície das partículas, mantendo assim a propriedade uniforme na extensão total da chapa.

Para os painéis homogêneos o adesivo é aplicado sobre as partículas no mesmo aplicador. Em painéis multicamadas a resina é aplicada separadamente para as partículas da camada interna e externa, por aplicadores distintos. As partículas da camada externa são menores, levando a aplicação de maior quantidade de adesivo devido a sua maior área superficial. Para as partículas da camada interna, dimensão maior é aplicada menor quantidade de adesivo nas partículas, devido à menor área superficial. (IWAKIRI, 2005)

#### **3.4.5 Formação do colchão**

É o processo de colocação das partículas aglutinadas com adesivo sobre uma esteira, em quantidade determinada, conforme a densidade e espessura do painel, uniformidade e distribuição das partículas. A altura do colchão depende da densidade do painel (quanto maior a densidade do painel, maior a quantidade de partículas e maior a altura do colchão), da madeira (densidade menor da madeira usada, maior a quantidade de material usado e maior altura do colchão) e espessura do painel (quanto maior a espessura do painel a ser produzida, maior quantidade de material utilizado e maior a altura do colchão).

O colchão é formado em uma estação formadora, onde a quantidade de material é colocada conforme a dimensão do painel desejado, seguindo para a distribuição na esteira (IWAKIRI, 2005).

### **3.4.6 Pré-prensagem e Prensagem**

Processo, em que o colchão formado passa pela redução da altura, com o objetivo de melhorar a consistência e facilitar o processo de carregamento da prensa a quente. Após a pré-prensagem o colchão é levado para a prensagem a quente para a cura da resina, densificação e consolidação do colchão até que este atinja a espessura final. O tempo de prensagem de um painel depende do tempo em que a linha de cola mais interna do painel atinja a temperatura de cura da resina (CHOW et al.,1973).

A prensagem a quente ocorre em ciclos sendo os fatores principais: pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

Os sistemas atuais de prensagem possuem o uso de uma nova tecnologia, a prensa contínua. Onde esta permite aumentar a velocidade da linha, evita desperdício de carregamento, descarregamento, fechamento e abertura das prensas convencionais utilizadas anteriormente. (MALONEY, 1993).

### **3.4.7 Acabamento**

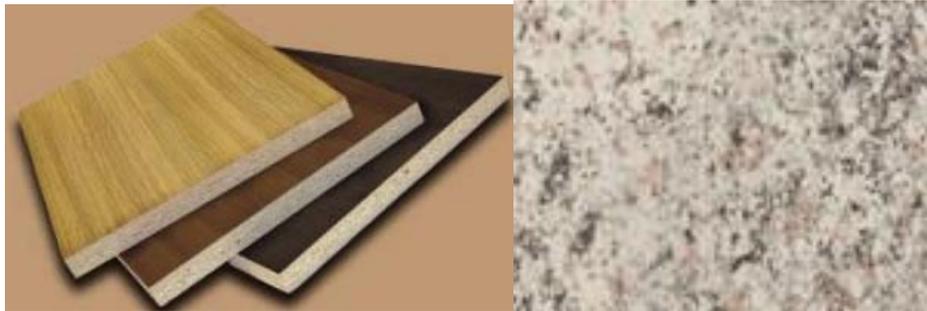
Após a prensagem, os painéis são levados para o acondicionamento por certo período. Em seguida estes são empilhados por 48 horas, até atingirem a temperatura e umidade de equilíbrio do ambiente. Ao saírem do acondicionamento os painéis são esquadrejados, deixando-os nas dimensões comerciais. Por fim, é feito o lixamento para a padronização da espessura e acabamento superficial dos painéis, para a aplicação de revestimentos (IWAKIRI, 2005).

O MDP possui uma superfície bastante fina, fechada e homogênea, de alta densidade, o que causa menor inchamento das partículas da superfície do painel, conseqüentemente, menor absorção de tinta (IWAKIRI, 2005).

O MDP pode ser encontrado tanto com revestimento, quanto sem, sendo (EUCATEX, 2007):

Com revestimento: Melamínico em Baixa Pressão (BP), Finish Foil (FF). A Figura 6 apresenta os painéis de MDP com revestimento BP e FF.

Figura 6- Painéis de MDP com revestimento



Fonte: Móveis para escritório, 2009.

Fonte: Eucatex.

Sem revestimento: para aplicação de Lâminas de Madeira, Laminados de Alta Pressão ou Pintura e Impressão. A Figura 7 ilustra o painel de MDP sem revestimento.

Figura 7- MDP sem revestimento.



Fonte: Duratex, 2012.

### 3.5 Características, propriedades e aplicações do painel de MDP

O painel de MDP é indicado para a produção de móveis tanto residenciais quanto comerciais, que não necessitem de usinagem em baixo relevo, entalhes e cantos arredondados. Exemplo de aplicações (REMADE, 2006):

- Porta reta;
- Laterais de móveis;
- Prateleiras;
- Divisórias;
- Tampos retos;

- Tampo pós-formados;
- Frente e laterais de gaveta.

A Figura 8 ilustra algumas dessas aplicações.

Figura 8: Aplicações



Fonte: Eucatex, 2007.

Quando usado sozinho ou combinado com outros painéis mais caros, um móvel feito de MDP será sempre muito mais econômico e competitivo do que os variados móveis feitos com outras matérias-primas similares, como Compensado ou MDF. O custo é considerado menor devido a suas matérias primas utilizadas, pois uma de suas características é ser fabricada muitas vezes por resíduos florestais transformadas em partículas aglutinadas e entrelaçadas a resinas especiais de última geração, reduzindo os custos da produção (EUCATEX, 2007).

**O painel apresenta como principais características:**

- Alta densidade das camadas superficiais, assegurando um acabamento superior nos processos de impressão, pintura e revestimentos.
- Produção com o conceito de três camadas: colchão de partículas no miolo e camadas finas nas superfícies.
- Homogeneidade e grande uniformidade das partículas das camadas externas e interna.
- Propriedades mecânicas superiores, melhor resistência ao arrancamento

de parafuso, menor absorção de umidade e empenamento.

- Utilização de resinas especiais de última geração.
- Utilização de madeiras selecionadas provenientes de florestas plantadas, econômica e ecologicamente sustentáveis (REMADE, 2006).

O painel de MDP é um produto ecologicamente correto que não utiliza madeiras da Amazônia ou da Mata Atlântica em sua fabricação, mas sim, madeiras provenientes de florestas plantadas, econômica e ecologicamente sustentáveis (EUCATEX, 2007).

### **3.6 Influências da geometria das partículas nas propriedades físico-mecânicas dos painéis**

As geometrias das partículas apresentam influência direta na resistência dos painéis, estabilidade dimensional, acabamento e colagem, pois determina a área de contato entre partículas. Os painéis formados por partículas curtas e espessas apresentam menor área de contato e menor flexibilidade, o que representa melhor tração perpendicular. No entanto, o módulo de ruptura e elasticidade em flexão estática é desfavorecido. (LEHMAN, 1974) apud (GLAUCINEI, 2004). Além de influenciar significativamente na resistência (MOSLEMI, 1974).

As dimensões das partículas são obtidas através das operações de geração de partículas, pelas quais é possível calcular a razão de esbelte, que é a relação do comprimento pela espessura das partículas, sendo um dos principais fatores nas propriedades dos painéis. (SILVA, 2000) apud (GLAUCINEI, 2004).

A forma e o tamanho das partículas influenciam também, na secagem, de forma que são estas que determinam a quantidade de calor a ser aplicado. As partículas de maiores dimensões necessitam de maior quantidade de calor para a remoção da água existente nas mesmas. Quando há variações demasiadas nas dimensões das partículas, tem-se secagem desigual. Sendo que, as partículas menores secam muito e rápido, enquanto, que as maiores secam

pouco e devagar, o qual impossibilita o correto controle da umidade desejada. (MOSLEMI, 1974).

Partículas finas, longas de menor densidade apresentam chapas de melhor estabilidade dimensional. As partículas influenciam ainda:

- Área de contato entre as partículas ou área superficial específica;
- Consumo relativo de resina por unidade de área das partículas (SILVA, 2000).

Pode-se destacar ainda que se mantiver o comprimento da partícula constante e aumentar a espessura, resultará em menor razão de esbeltez, menor área de contato e grande consumo de resina, o qual influenciará na ligação interna do painel. Ou ainda, se permanecer constante a espessura da partícula e aumentar o comprimento, a razão de esbeltez será maior, ocasionando assim, melhores propriedades de flexão estática (MOSLEMI, 1974).

Ainda quanto às relações de comprimento e espessura das partículas Haselein (2002) comprovou que as propriedades de flexão estática (MOR e MOE) aumentaram com o aumento do comprimento e diminuição da espessura das partículas e, ainda, que inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos aumentaram com o aumento da espessura das partículas.

## **4. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Materiais**

Para a produção das chapas de MDP, os materiais utilizados foram resíduos de *Eucalyptus sp.*, adesivo uréia-formaldeído, catalisador, emulsão parafínica e água.

Os resíduos de *Eucalyptus sp.* com teor de umidade de 3% , são provenientes dos processos de beneficiamento da madeira, doados pelos laboratórios de Propriedades dos Materiais e de Processamento da Madeira do Campus da Unesp de Itapeva-SP.

O adesivo utilizado na produção foi resina ureia-formaldeído da marca Momentive, a base de água, com alta resistência a calor e umidade, teor de sólidos de aproximadamente 65%, pH próximo ao neutro. O catalisador utilizado foi endurecedor Cola Mite produzido pela Euroamerican com teor de sólidos de 20%, composto por sulfato de amônia. A emulsão utilizada foi a parafínica Humocer 100 A70 IS, produzida pela Isogama, com teor de sólidos de 70%.

### **4.2 Gerações de partículas**

Logo após o recebimento dos cavacos no Laboratório de Propriedades dos Materiais, os mesmos foram processados em um picador de marca Marconi modelo MA 683/3. A Figura 9 apresenta o modelo do picador utilizado neste trabalho.

Figura 9: Modelo de picador



Fonte: Própria, 2016.

Na seqüência, as partículas já reduzidas foram processadas em um moinho, também da marca Marconi, modelo MA 630. A Figura 10 representa o moinho usado nesta pesquisa.

Figura 10: Moinho para processamento secundário



Fonte própria, 2016.

Posteriormente, as mesmas passaram pela classificação em um jogo de peneiras vibratórias, sendo separadas em peneiras de (9 e 16 *mesh* para as camadas internas e 35 e 60 *mesh* para as camadas externas). A Figura 11 apresenta a peneira vibratória utilizada.

Figura 11- Peneira vibratória



Fonte: Própria, 2016.

A Figura 12 apresenta as granulometrias obtidas após a classificação.

Figura 12- Diferenças de granulometrias



Fonte: Própria, 2016.

Após a classificação das partículas as mesmas seguiram, para a análise da razão de esbeltez (RE), onde passaram pelo processo de aleatoriedade para a escolha de dez amostras de cada dimensão e granulometria, para a determinação do comprimento e da espessura das partículas. Essas dimensões

foram medidas com o auxílio de um micrômetro digital, mostrado na Figura 13. A Figura 13 apresenta o micrômetro digital utilizado.

Figura 13- Micrômetro digital



Fonte: Própria, 2016.

Os dados obtidos foram anotados para o cálculo da (RE), razão do comprimento pela espessura, para cada dimensão, através da Equação 1.

$$s = \frac{\text{comprimento}}{\text{espessura}} \quad (1)$$

Onde:

Razão de esbeltez (s): adimensional;

Comprimento: milímetros (mm);

Espessura: milímetros (mm).

Em seguida, calculou-se a média e o desvio padrão da razão de esbeltez para cada granulometria analisada. Após os cálculos de razão de esbeltez, as partículas foram levadas para a estufa de circulação de ar forçado por aproximadamente 24 horas até atingirem o teor de umidade desejado de aproximadamente 3%, com temperatura de 103°C (+ ou -) 2°C. A Figura 14 apresenta a estufa utilizada.

Figura 14- Estufa



Fonte: Própria, 2016.

As partículas restantes foram pesadas nas quantidades adequadas para cada chapa, e separadas nas quantidades de cada granulometria usada para cada camada, como mostra a Figura 15.

Figura 15- Separação das partículas



Fonte: Própria, 2016.

A Figura 16 demonstra as camadas inferior, central e superior, podendo observar as diferentes dimensões das partículas que as compõe.

Figura 16- Colchão de partículas destacando as camadas externas e internas



Fonte: Própria, 2016.

### 4.3 Produção dos painéis

A proposta deste estudo foi avaliar somente as mudanças na camada interna do painel e, mantendo a camada externa inalterada para os três tratamentos. As dimensões nominais dos painéis produzidos foram 45 x 45 x 12 mm. A temperatura de prensagem foi de 150 °C, e pressão aplicada pelo manômetro da prensa de 40 kgf/cm<sup>2</sup>, equivalente a 235 bar e tempo de prensagem de 3 ciclos de 180 segundos, com 2 intervalos de 30 segundos para alívio de pressão. Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis.

A Tabela 1 apresenta os tratamentos e, respectivas porcentagens de material.

Tabela 1- Tratamentos e porcentagens de material

Tratamento	Camada Externa (Superior e Inferior)		Camada Interna	
	35 mesh	60 mesh	9 mesh	16 mesh
<b>Tratamento 1</b>	70%	30%	30%	70%
<b>Tratamento 2</b>	70%	30%	50%	50%
<b>Tratamento 3</b>	70%	30%	70%	30%

A quantidade total de material usado para cada painel, sem diferenciar camada externa de interna, esta descrito na Tabela 2.

Tabela 2- Materiais e gramaturas utilizadas para cada painel

<b>Componentes</b>	<b>Quantidades (gramas)</b>
<b>Partículas</b>	1600
<b>Adesivo</b>	215
<b>Parafina</b>	11
<b>Catalisador</b>	7
<b>Água</b>	16

Para todos os tratamentos foi utilizada a seguinte composição. Diferenciando a camada externa da interna, como apresenta a Tabela 3.

Tabela 3- Composição da camada externa e interna

<b>Componente</b>	<b>Composição camada externa 35 e 60 mesh (g)</b>	<b>Composição camada interna 9 e 16 mesh (g)</b>
Partículas	480	1120
Adesivo	65	150
Parafina	3	8
Catalisador	2	5
Água	5	11

Como este estudo visa à variação da porcentagem granulométrica das partículas da camada interna do painel, na Tabela 4 está apresentada a gramatura exata utilizada em cada painel, respeitando a porcentagem indicada na Tabela 1 para cada tratamento.

Tabela 4- Quantidade de partículas utilizadas em cada tratamento

Tratamento	Camada Externa (Superior e Inferior) (g)		Camada Interna (g)	
	35 mesh	60 mesh	9 mesh	16 mesh
<b>Tratamento 1</b>	336	144	336	784
<b>Tratamento 2</b>	336	144	560	560
<b>Tratamento 3</b>	336	144	784	336

Realizados a pesagem da quantidade de partículas para cada tratamento, as partículas foram levadas para o processo de encolagem.

#### 4.3.1 Preparação e encolagem das partículas

As partículas separadas foram encaminhadas para uma bateadeira industrial onde passaram pelo processo de encolagem com adesivo comercial ureia-formaldeído, e adição de aditivos, como ilustra a Figura 17.

Figura 17- Adesivos e Aditivos



Fonte: Própria, 2016.

As partículas das camadas superior, inferior e central seguiram para o processo na bateadeira separadamente, devido às quantidades de adesivos e aditivos usados, tais como, água, catalisador e parafina.

A Figura 18 (A) ilustra a bateadeira industrial utilizada no processo de encolagem, e a Figura 18 (B) ilustra a bateadeira com as partículas, adesivos e aditivos.

Figura 18- (A) Bateadeira Industrial

(B) Partículas encoladas



Fonte: Própria, 2016.

Após a encolagem das partículas as mesmas seguiram para a formação das camadas do painel, sendo inferior, central e superior. Como a Figura 19 ilustra.

Figura 19- Formação do colchão



Fonte: Própria, 2016.

### 4.3.2 Pré - prensagem e Prensagem.

Logo após a formação das camadas do painel, o mesmo passou pela pré - prensagem para a redução da espessura. A Figura 20 ilustra a pré-prensagem.

Figura 20- Pré-prensagem



Fonte: Própria, 2016.

Em seguida, retirou-se a forma para levá-lo a prensa a quente. A Figura 21 ilustra o painel após a remoção da forma.

Figura 21- Painel após pré-prensagem



Fonte: Própria, 2016.

Por fim, o colchão composto por três camadas foi formado, e levado para uma prensa hidráulica Hidral-Mac, modelo PHH 80 T (como mostra a Figura 22) a quente com temperatura de 150°C e ciclo de prensagem com pressão máxima de 40 kgf/cm<sup>2</sup>.

Figura 22- Prensa Hidráulica



Fonte: Própria, 2016.

Realizada a prensagem dos painéis, os mesmos foram retirados da prensa, como ilustra a Figura 23, e acondicionados por no mínimo 72 horas, segundo o especificado pelo documento normativo ABNT NBR 14810-2/2013, até a produção dos corpos de prova.

Figura 23- Painel após prensagem



Fonte: Própria, 2016.

#### **4.4 Caracterização dos painéis**

Concluída a produção dos painéis, estes passaram por ensaios de

caracterização físico-mecânica, sendo os corpos de prova retirados dos painéis fabricados. Os corpos de prova retirados das chapas possuem as dimensões de (50 x 50) mm para os ensaios de teor de umidade e densidade, (20 espessura + 50) x 50 mm para ensaios de flexão, e (50 x 50) mm para ensaio de inchamento e absorção. Os testes realizados foram em conformidades com o documento normativo ABNT - NBR 14.810/2013. A Figura 24 ilustra os corpos de prova utilizados nos ensaios físicos e mecânicos.

Figura 24- Corpos de prova, ensaio físico e mecânico



Fonte: Própria, 2016.

#### **4.4.1 Caracterização Física**

Para os ensaios físicos foram utilizados: paquímetro digital Digimess, com precisão de 0,001 mm, e micrômetro digital Digimess, modelo IP54 e precisão de 0,001 mm, balança digital semi-analítica Digimed, modelo KN4000, e estufa Marconi, modelo MA 033.

##### **4.4.1.1 Teor de umidade**

Determinou-se o teor de umidade segundo a norma NBR 14810/2013, onde 6 corpos de prova de 50 mm x 50 mm (de cada tratamento) foram pesados, obtendo a massa úmida. Os corpos de prova então foram levados a estufa com temperatura de aproximadamente 103°C (+ ou - 2°C), e pesados a cada 6 horas, até obter massa constante. Em seguida, foram retirados da estufa, resfriados e novamente pesados obtendo assim a massa seca de cada corpo de prova. Em seguida através da Equação 2 foi calculado o teor de umidade individualmente.

$$U = \frac{MU-MS}{MS} * 100 \quad (2)$$

Onde:

U: Teor de umidade (%);

UM: Massa úmida (g);

MS: Massa seca (g).

Após os dados obtidos de teor de umidade, para cada tratamento foi realizada a análise estatística.

#### 4.4.1.2 Densidade

A densidade foi determinada conforme a norma NBR 14810-2/2013. Os corpos de prova para os testes de densidade foram os mesmos usados no teste de teor de umidade. Com o auxílio de um paquímetro digital foi medido a espessura de cada corpo de prova em cinco pontos diferentes, sendo as extremidades e o centro do corpo de prova.

A Equação 3 foi utilizada para o cálculo da densidade.

$$D = \frac{M}{V} * 10^6 \quad (3)$$

$$V = b1 * b2 * e \quad (4)$$

Onde:

D: densidade do corpo de prova expressa em (kg/m<sup>3</sup>);

M: é a massa do corpo de prova expressa em (kg);

V: volume do corpo de prova expresso em milímetros (m<sup>3</sup>);

b1 e b2 :são as dimensões do corpo de prova expressa em (m);

e = é a espessura do corpo de prova expressa em (m).

#### 4.4.1.3 Inchamento e Absorção

Os 6 corpos de prova (de cada tratamento) utilizados possuem dimensão de 50 mm x 50 mm. As amostras foram identificadas, e com o auxílio de um micrômetro digital mediu-se a espessura central inicial de cada corpo de prova, para teste de inchamento, e para o teste de absorção as mesmas amostras foram pesadas obtendo a massa inicial de cada uma.

Os corpos de prova foram levados a um recipiente com água destilada, e submersos. Passadas aproximadamente 2 horas (+ ou -) 3min, as amostras foram retiradas do recipiente e para remover o excesso de água foram colocadas em papel absorvente. A espessura novamente foi medida, e massa obtida. Logo o inchamento e absorção foram calculados pelas Equações 5 e 6, para ambos os tempos.

$$I = \frac{E1-E0}{E0} * 100 \quad (5)$$

Onde:

I: Inchamento do corpo de prova, em espessura, (%);

E1: espessura do corpo de prova após imersão, (mm);

E0: espessura do corpo de prova antes da imersão, (mm).

A absorção foi calculada pela Equação 6.

$$A = \frac{M1-M0}{M0} * 100 \quad (6)$$

Onde:

A: é a absorção de água, em porcentagem (%);

M1: é a massa do corpo de prova após o período de imersão, em gramas

(g);

M0: é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas (g).

#### 4.4.2 Caracterização Mecânica

Para a realização dos ensaios mecânicos foram usados os equipamentos: paquímetro digital Digimess, e Máquina Universal de Ensaio, EMIC DL3000N.

Os testes mecânicos realizados foram tração perpendicular, conhecida como adesão interna, flexão estática, para determinação de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE).

As amostras foram dispostas na máquina de ensaios para a realização dos testes. A carga foi aplicada até que o corpo de prova fosse rompido. Os dados de carga de ruptura e deformação foram coletados pelo *software* da máquina de ensaio. Os dados de MOR e MOE foram calculados pela própria máquina, onde os dados necessários foram incluídos.

##### 4.4.2.1 Resistência à tração perpendicular ou adesão interna

Os corpos de provas foram seccionados conforme a norma. Em seguida, realizou-se a colagem das amostras em duas sapatas, com adesivo epóxi instantâneo, como a Figura 25 ilustra, ficando 24 horas pressionadas por sargento.

Figura 25- Corpo de prova colado nas sapatas



Fonte: Própria, 2016.

Após, os 18 corpos de prova, seis de cada Tratamento foram levados para um ambiente climatizado a 25°C por aproximadamente 72 horas. Logo, levados para a Máquina universal de ensaios, EMIC, e alocados no conjunto de tração perpendicular, sofrendo aplicação de carga, até o rompimento, com intervalo de (60 + ou - 30) segundos após o início do teste. A Figura 26 ilustra o ensaio de adesão interna.

Figura 26- Ensaio de Adesão interna



Fonte: Própria, 2016

A tração perpendicular ou adesão interna foi calculada pela Equação 7.

$$Tp = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Onde:

TP: resistência à tração perpendicular, (MPa);

P: é a carga na ruptura, (N);

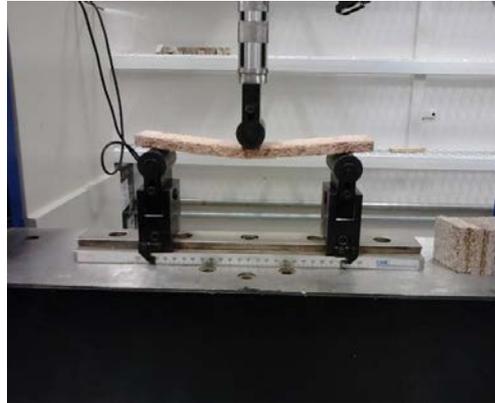
S: área da superfície do corpo de prova, (mm<sup>2</sup>).

#### 4.4.2.2 Flexão Estática

A realização do ensaio de flexão estática (MOE e MOR), foram usados 6 corpos de prova (20 espessura +50) x 50 mm (para cada tratamento). Com o auxílio de um paquímetro digital foram medidas as dimensões dos corpos de prova, tais como largura e espessura, no centro de cada amostra, local em que a carga foi aplicada. Cada corpo de prova foi levado a EMIC para a realização do teste, no qual o cutelo de carregamento se posicionasse com o centro do corpo de prova. A máquina de ensaios foi ajustada com velocidade constante para a aplicação da carga, até o rompimento de cada um deles, sendo este tempo de (60 + ou - 30) segundos. Os dados de ruptura e deformação foram

coletados pela EMIC. Os módulos de elasticidade e ruptura, foram calculados pelas fórmulas Equações 8 e 9. A Figura 27 ilustra o ensaio de flexão estática.

Figura 27- Ensaio de flexão estática



Fonte: Própria, 2016.

Módulo de elasticidade.

$$MOE = \frac{P1 * D^2}{d * 4 * B * E^2} \quad (8)$$

Onde:

MOE: módulo de elasticidade, (MPa);

P1: carga no limite, (N);

d: deflexão em correspondente à carga P1, (mm),

B: largura do corpo de prova, (mm);

E: espessura do corpo de prova, (mm).

Módulo de Ruptura.

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (9)$$

Onde:

MOR: módulo de ruptura, (MPa);

P: é a carga de ruptura, (N);

D: distância entre apoios do aparelho, (mm);

B: largura do corpo de prova, (mm);

E: espessura do corpo de prova, (mm).

#### **4.5 Análise Estatística**

Com os dados obtidos nos ensaios, foi realizada a análise estatística no programa de estatística R. Sendo estas, a análise de variância através do teste F ao nível de 5% de probabilidade, e, também o teste de Tukey, visando à comparação entre as médias dos tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade. Para evidenciar a diferença existente entre os tratamentos, adotou-se a utilização de letras para a comparação das médias pelo teste de Tukey, onde as médias acompanhadas pela mesma letra em tabela, não diferem estatisticamente entre si, com nível de significância de 5% de probabilidade.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos nos ensaios físicos e mecânicos estão dispostos em forma de tabela. Os mesmos foram usados para a realização da análise estatística.

#### **5.1 Razão de esbeltez**

Neste estudo, a razão de esbeltez foi determinada para as quatro granulometrias, pois esta influencia significativamente na qualidade dos painéis. A Tabela 5 apresenta a média dos dados da razão de esbeltez de cada granulometria e, respectivo, desvio padrão.

Tabela 5- Razão de esbeltez

<b>Granulometrias</b>	<b>9 mesh</b>	<b>16 mesh</b>	<b>35 mesh</b>	<b>60 mesh</b>
<b>Média</b>	11,89	11,68	10,42	22,74
<b>Desvio Padrão</b>	4,77	3,39	3,40	12,22

A partir dos resultados apresentados na Tabela 5 observa-se que as partículas geradas e analisadas, independentes da granulometria, encontram-se abaixo do recomendado na literatura. Iwakiri (2005) indica que partículas da camada interna devem apresentar valores de RE próximos a 60 e para a camada externa próximos a 120. Isto pode ser justificado pela origem da matéria-prima que é proveniente do aproveitamento de resíduos do processamento mecânico da madeira. O uso de resíduos apresenta limitações no desempenho final do painel, mas, não impede a utilização destes para algumas aplicações. Ajustes no processamento das partículas podem resultar em aumento da razão de esbeltez. Destaca-se ainda que mesmo a indústria de painéis particulados não atinge os valores referenciados na literatura.

## 5.2 Ensaio Físicos

Os ensaios físicos foram baseados no documento normativo brasileiro para painéis de madeira aglomerada NBR 14810-2/2013. Os resultados dos ensaios físicos de densidade, teor de umidade, absorção e inchamento, para cada tratamento estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6- Resultados de ensaios físicos para os três tratamentos

<b>ENSAIOS</b>	<b>TRATAMENTO 1</b>	<b>TRATAMENTO 2</b>	<b>TRATAMENTO 3</b>
<b>DENSIDADE (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	787 A	763 AB	749 B
<b>TEOR DE UMIDADE (%)</b>	8,8 A	8,2 B	7,9 B
<b>INCHAMENTO 2H (%)</b>	10,3 A	12,1 B	13,5 C

<b>ABSORÇÃO 2H (%)</b>	12,8 A	14,3 B	16,2 C
------------------------	--------	--------	--------

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

Conforme os dados apresentados na Tabela 6, os valores de densidade indicam que os painéis para os três tratamentos se encontram dentro da classificação de média densidade conforme referência dos valores de densidade indicados pela norma europeia EN 312/2000 que indica que os painéis de média densidade apresentam densidade entre 500 e 800 kg/m<sup>3</sup>. O Tratamento 1 apresentou densidade igual ao Tratamento 2, o que significa que os painéis possuem menos vazios em suas camadas internas, tornando suas propriedades melhores, mas ainda dentro do limite de média densidade. Na mesma tabela os valores de teor de umidade para os três tratamentos encontram-se em conformidade com o documento normativo NBR 14810-2/2013, onde ela especifica que para a comercialização o teor de umidade deve estar entre 5% e 11%, e o teor de umidade do Tratamento 1 difere dos demais. Ainda os valores ficaram próximos ao estudo de Iwakiri (2000) que obteve valores de teor de umidade variando entre 7 e 11% para painéis particulados de eucalipto.

Os dados do teste de absorção não se encontram conforme a porcentagem proposta em documento normativo DIN 68.761 (1)-1961 (3) (DIN, 1971), que especifica que a porcentagem tem de estar abaixo de 10%, no entanto, os valores dos tratamentos estão superiores. Comparado com estudos presentes na literatura, painéis à base de resíduos de eucalipto apresentou médias gerais para absorção de 2 h de 66,55%, o qual comparado com os dados obtidos na Tabela 6 pode-se afirmar que o presente estudo apresenta dados inferiores ao da literatura. A norma ABNT não estabelece valores mínimos e máximos para absorção de água por imersão, no entanto, para o Tratamento 1 obteve-se valores mais próximos ao encontrado na norma citada. Ainda de acordo com a Tabela 6 o inchamento em espessura obteve melhor resultado no Tratamento 1, no entanto, nenhum dos três tratamentos atingiu o valor estabelecido pela norma ABNT NBR 14810-2/2013 de até 8%, pois os três tratamentos apresentaram valores superiores.

Os resultados de inchamento e absorção inferiores as especificações normativas podem ser justificados pela influencia da razão de esbeltez inferior aos valores ideais, o que torna os painéis mais porosos, com menores superfícies de contato entre as partículas e facilitando a penetração de água.

### 5.3 Ensaio Mecânicos

Os ensaios mecânicos foram baseados no documento normativo brasileiro para painéis de madeira aglomerada NBR 14810-2/2013. Os dados obtidos na realização dos ensaios mecânicos de adesão interna e flexão estática para a determinação de Módulo de Elasticidade e Módulo de Ruptura, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7- Resultados de ensaios mecânicos para os três tratamentos.

<b>Ensaio</b>	<b>Tratamento 1</b>	<b>Tratamento 2</b>	<b>Tratamento 3</b>
<b>ADESÃO INTERNA (MPa)</b>	0,48 A	0,42 B	0,38 B
<b>MOE (MPa)</b>	1875 A	1692 B	1387 C
<b>MOR (MPa)</b>	12,35 A	10,98 B	8,43 C

\*Médias seguidas pelas mesmas letras não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

De acordo com a Tabela 7 os resultados obtidos no ensaio mecânico de tração perpendicular (adesão interna) permitem concluir que o Tratamento 1 e o Tratamento 2 apresentaram dados superiores ao mínimo estabelecidos pela norma ABNT 14810-2/2013, no entanto, de acordo com a análise estatística o Tratamento 3 não difere do Tratamento 2, portanto, pode-se afirmar também que este está de acordo com a norma, que especifica para painéis com espessura de 8 a 14 mm o valor mínimo de 0,40 MPa. Comparando o resultado obtido por Dacosta *et al.* (2005) que apresentou em seu estudo dados menores que 0,20 MPa, sendo dados inferiores ao apresentado neste presente estudo.

Ainda conforme a Tabela 7, os dados obtidos nos ensaios de flexão, para determinação do módulo de ruptura encontra-se inferior ao mínimo especificado pela norma ABNT 14810-2/2013 de 11 MPa para os Tratamentos 2 e 3. Já o

Tratamento 1 apresentou valor superior indicando condições ideais segundo o requisito de painéis para uso interno em condições secas.

Os resultados para Módulo de Elasticidade, o Tratamento 1 obteve valor superior ao especificado pela norma ABNT 14810-2/2013 de 1800 MPa, os demais tratamentos apresentaram valor inferior ao estabelecido.

## **6. CONCLUSÃO**

O estudo para avaliar a influência da geometria das partículas de madeira na composição do painel MDP permite concluir que existe interferência nas propriedades físicas e mecânicas a partir da matéria-prima utilizada. A interação entre as partículas de madeira é decisiva no desempenho final do painel particulado, e dentro deste contexto pode-se afirmar que a geometria das partículas interfere diretamente nas condições finais do painel particulado de madeira, e que neste estudo a razão de esbeltez não interferiu para que os resultados dos três Tratamentos fossem diferentes, já que ela não diferiu nos três Tratamentos.

Neste estudo pode-se concluir que, o Tratamento 1, produzido com 30% de partículas de 9 mesh e 70% de 16 mesh apresentou melhores propriedades físico-mecânicas em relação aos demais tratamentos. As geometrias das partículas influenciaram significativamente nos resultados obtidos, pois no Tratamento 1 havia uma quantidade maior de partículas menores na composição

da camada interna. Tal composição proporcionou menor quantidade de vazios na formação do painel que por consequência apresentou maior densidade, e, assim, melhores propriedades físico-mecânico. O Tratamento 2, apresentou dados semelhantes ao Tratamento 1 na maioria dos testes realizados, no entanto, alguns ensaios mostraram, que o tratamento 1 ainda é melhor, ou seja, maior quantidade de partículas melhores proporcionam melhor interação final do conjunto. E da mesma forma, pode-se analisar o Tratamento 3, onde ocorreu maior incidência de partículas maiores na camada intermediária interferindo de forma negativa no desempenho final do painel.

Sugere-se para novos estudos ajustes no processamento mecânico da madeira de modo a permitir melhores resultados da razão de esbeltez da matéria-prima utilizada na composição dos painéis.

Ainda pode-se sugerir para estudos futuros o uso de partículas de outras granulometrias na composição da camada intermediária do painel MDP de modo a reduzir vazios e melhorar a interação entre as partículas constituintes.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – **ABIPA**. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 20. Jan. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2: Chapas de madeira aglomerada: requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia-formaldeído e melamina-formaldeído**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

BRITO, E. O. ***Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus elliottiiEngelm plantado no Sul do Brasil.*** 1995. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

CHOW, S. et al. ***Quality control in veneer drying and plywood gluing.*** Ottawa: Canadian Forest Service, 1973. 123p

CORRÊA, Glaucinei Rodrigues. ***Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira.*** 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Ufop-cetec-uemg, Minas Gerais, 2004. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/12918524-Glaucinei-rodrigues-correa.html>>. Acesso em: 28 maio 2016.

CAVACO. Disponível em: <[https://www.google.com.br/search?q=LIPPEL+CAVACO+IMAGENS&biw=1093&bih=498&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiU3IK83IrNAhXKJiYKHUUhD5MQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=LIPPEL+CAVACO+&imgrc=qRhDdG8gerL\\_M:>](https://www.google.com.br/search?q=LIPPEL+CAVACO+IMAGENS&biw=1093&bih=498&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiU3IK83IrNAhXKJiYKHUUhD5MQ_AUIBigB#tbm=isch&q=LIPPEL+CAVACO+&imgrc=qRhDdG8gerL_M:>)>. Acesso em: 06 maio 2016.

CORRÊA, Glaucinei Rodrigues. **DESENVOLVIMENTO, PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MADEIRA-PLÁSTICOS PARA APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA MOVELEIRA.** 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Ufop-cetec-uemg, Minas Gerais, 2004. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/12918524-Glaucinei-rodrigues-correa.html>>. Acesso em: 28 maio 2016.

Cristiane Inácio de Campos. Notas de aula: **PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE PARTÍCULAS**, 2015.

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 elliottii* Engelm.** *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 421-429, 2005.

Deutsches Institut für Normung – DIN. **DIN 68761 (1)- 1961 (3):** specifications for particleboards. Holtz; 1971. Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores.** São Paulo; 2015.

EUCATEX. Disponível em: <<http://www.eucatex.com.br/pt/paineis/mdp/produto?id=32>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

FAO (2013) Produção de madeira aumentou pelo 4º ano consecutivo. Disponível em: <<http://www.unmultimedia.org/radio/portuguese/2014/12/fao-afirma-que-producao-de-madeira-aumentou-pelo-4o-ano-consecutivo/#.V0cKtfkrLIU>>. Acesso em: 28 maio 2016.

GONÇALVES, M. T. T. **Processamento da Madeira.** Bauru. São Paulo. 242p, 2000.

HASELEIN, C. R. et. al. **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, jul. 2002.

HASELEIN, C. R. et al. **Fabricação de chapas de partículas aglomeradas usando gesso como material cimentante.** *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 12, n. 001, p.81-88, 2002.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites.** Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI, S. et al. **Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto.** *Scientia Agraria*, Piracicaba, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000a.

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

Maravalha. Disponível em: <

MDF ou MDP, qual é o melhor? Disponível em: <[www.dellanno.com.br/blog/mdf-ou-mdp-qual-e-o-melhor/](http://www.dellanno.com.br/blog/mdf-ou-mdp-qual-e-o-melhor/)>. Acesso em: 23 jan. 2016. 2015

MADEPAN. Disponível em: <<http://www.duratexmadeira.com.br/MaDePan/D117P466>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

MDP Eucatex. A nova geração de painéis. 2007. Disponível em: <[www.madeira.ufpr.br/disciplinasprofcamargo/mdpluciane.ppt](http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasprofcamargo/mdpluciane.ppt)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

MDP – BP » mdp-bp. Disponível em: <<https://moveisparaescritorio.wordpress.com/materiais/mdp-bp/mdp-bp/>>. 2012 Acesso em: 29 fev. 2016.

MALONEY, T. M. ***Modern particleboard & dry-process fiberboard***. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

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

MOSLEMI, A. A. ***Particleboard***. Volume 1: Materials. Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press, 243p, 1974.

MÓVEIS EM MDF E MDP: ECONOMIA E DURABILIDADE. Disponível em: <<http://www.irmaossoares.com.br/blog/2010/04/mveis-em-mdf-e-mdp-economia-e-durabilidade/>>. Acesso em: 21 maio 2016.

NP EN 312-2: 2000, “Aglomerado de partículas – Especificações – Parte 2: Requisitos para placas de uso geral ambiente seco”.

PRODUÇÃO de chapas de madeira aglomerada. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=967&subject=Pai](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=967&subject=Pai)> .Acesso em: 09 abr. 2016.

PRODUTOS -MDP. Disponível em: <<http://www.berneck.com.br/produtos.aspx>>. Acesso em: 21 fev. 16.

REMADE 2006 (Ed.). **MDP – Nova tendência na fabricação de chapas.** Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=978&subject=E mais&title=MDP- Nova tendencia na fabricao de chapas](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=978&subject=E%20mais&title=MDP-+Nova+tendencia+na+fabricao+de+chapas)>. Acesso em: 23 jan. 2016.

SELLERS, T. – Growing markets for engineered products spurs research. **Wood Technology**. 127 (3), 40-43. 2000.

SERRAGEM. Disponível em: <[https://www.google.com.br/search?q=BLASCO+BIOMASSA+SERRAGEM&biw=1093&bih=498&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioqZSM3lrNAhVG4SYKHeIEA1kQ\\_AUIBigB#imgsrc=K73vsVixfp3jIM:](https://www.google.com.br/search?q=BLASCO+BIOMASSA+SERRAGEM&biw=1093&bih=498&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwioqZSM3lrNAhVG4SYKHeIEA1kQ_AUIBigB#imgsrc=K73vsVixfp3jIM:)>. Acesso em: 06 maio 2016.

YOUNGQUIST, J. A – **Wood Based composites and panel products** –  
**Wood Handbook -Wood as an engineering material** – Madison, WI – pg. 10.1  
– 10-31 - 1999 – USA.