

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RAFAEL SANTIAGO

PROPRIEDADES DE PAINÉIS DO TIPO AGLOMERADO  
FABRICADO COM RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Florestal.

VIÇOSA 2015

RAFAEL SANTIAGO

PROPRIEDADES DE PAINÉIS DO TIPO AGLOMERADO  
FABRICADO COM RESÍDUOS DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Florestal.

APROVADA: 03 de julho de 2015

---

Benedito Rocha Vital (Orientador)

---

Carla Priscilla Távora Cabral (Co-orientadora)

---

Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho

VIÇOSA 2015

## BIOGRAFIA:

Nascido em 20 de dezembro de 1989, filho de João Fernando Santiago e Maria de Fátima Affonso, em Juiz de Fora, estado de Minas Gerais

Concluiu o ensino médio em 2007 na Escola Estadual Instituto da Educação, em Juiz de Fora - MG.

No ano de 2009 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa - MG.

No ano de 2013 teve a experiência de participar do programa federal de intercambio de estudantes (Ciências sem fronteiras), residindo e estudando nos Estados Unidos por um ano em Southern University - Baton Rouge LA.

#### AGRADECIMENTOS:

Aos meus pais, pelo contínuo apoio, aprendizado e evolução.

Ao professor Dr. Benedito Rocha Vital, pelo auxílio e pela orientação, e a professora Dr. Carla Priscilla T. Cabral pela excelente co-orientação, dicas e correções para a elaboração deste trabalho.

Às empresas fornecedoras dos resíduos de madeira, pela imediata disponibilidade do material utilizado nesta pesquisa.

Aos demais colegas, pelos bons momentos compartilhados nos trabalhos práticos e pelas dicas referentes a este trabalho.

## **RESUMO:**

O presente trabalho teve como objetivo geral mostrar a viabilidade técnica da utilização de resíduos oriundos da indústria moveleira para a produção de novas chapas. Resíduos das chapas do tipo MDF foram coletados e cedidos pelo Pólo Moveleiro de Ubá, MG. Os resíduos na forma de serragem e aparas foram processados em moinho de martelo e após a moagem foram selecionados em peneiras. Foram fabricadas chapas do tipo aglomerado, MDP, aglomerado com inclusão laminar e aglomerado com adição de partículas de *Pinus*, tendo 3 repetições cada, totalizando 12 chapas. Foram determinados a densidade, o teor de umidade, a absorção de água e o inchamento em espessura após 2 horas de imersão. Foram também determinados a dureza Janka, a tração perpendicular, a compressão longitudinal, o arrancamento de parafuso e a flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade). Os ensaios mecânicos foram realizados em uma máquina de ensaio universal, seguindo a norma brasileira NBR 14810 (2002) e os resultados foram comparados entre si usando o teste de médias de Tukey. Observou-se que houve influência no tipo de partícula, sendo as chapas do tipo aglomerado com adição de partículas de *Pinus*, as que mais adsorveram e absorveram água, além de apresentarem maior inchamento em espessura. As propriedades mecânicas, também, foram afetadas pelos tratamentos, sendo as chapas de aglomerado com inclusão laminar, as que apresentaram maiores resistências médias para arrancamento de parafuso, compressão longitudinal e flexão estática.

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>7</b>
1.1. OBJETIVOS.....	8
1.1.1. Objetivo geral.....	8
1.1.2. Objetivos específicos.....	8
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>9</b>
2.1. INDÚSTRIA MOVELEIRA.....	9
2.2. MERCADO DE PAINÉIS:.....	9
2.3. CUSTOS DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS.....	10
2.4. RESÍDUOS MADEIREIROS.....	12
2.4.1. Classificação dos resíduos.....	13
2.5. UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS.....	13
2.6. PAINÉIS DE MADEIRA.....	13
2.6.1. Painéis MDP.....	14
2.6.2. Painéis MDF.....	14

2.6.3. Produção de painéis no Brasil.....	15
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
3.1. PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS.....	16
3.2. CONFECÇÃO DAS CHAPAS.....	17
3.3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	17
<b>4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....</b>	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>21</b>
5.1. PROPRIEDADES FÍSICAS.....	21
5.1.1. Densidade.....	21
5.1.2. Teor de Umidade (%).....	23
5.1.3. Absorção de Água (após 2horas de imersão).....	24
5.1.4. Inchamento em Espessura (após 2horas de imersão)	25
5.2. ENSAIOS MECÂNICOS.....	26
5.2.1. Dureza Janka.....	26
5.2.2. Tração Perpendicular.....	27
5.2.3. Arrancamento de Parafuso.....	28
5.2.4. Compressão Longitudinal.....	29
5.2.5. Módulo de Ruptura na Flexão Estática.....	30
5.2.6. Módulo de Elasticidade na Flexão Estática.....	31
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>33</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria moveleira no Brasil apresenta uma grande expansão e é um dos maiores consumidores de recursos naturais renováveis. O setor moveleiro é composto por cerca de 13.500 micros, pequenas e médias empresas. E estima-se que dentre empresas formais e informais esse número pode alcançar cerca de 50 mil negócios (ABIMÓVEL, 2012).

A geração de resíduos já faz parte dos custos não só econômicos mas também de ordem ambiental em diversos ramos industriais devido à grande quantidade de resíduos gerados. Estima-se, que entre 40 e 50% da matéria-prima é transformada em resíduos dependendo do processo adotado (BELLOTE et al, 1998). Cabe as empresas bem estruturadas a adaptação de estratégias inteligentes para a eliminação ou até mesmo o aproveitamento desses resíduos.

No ramo madeireiro, a geração de resíduos é inevitável devido as várias fases do processamento da madeira, diversas formas de resíduos são gerados como a exemplo as serragens, maravalhas, aparas, pó de serra dentre outras, promovendo gastos consideráveis com o manejo desses resíduos (PEREIRA JUNIOR, 2001).

Assim sendo, com a reutilização eficiente dos resíduos madeireiros, o objetivo de eliminar estes remanescentes indesejados é alcançado de forma otimizada, pois além da indispensável

supressão de resíduos, mais recursos serão gerados com a produção de matéria prima e assim reduzindo custos.

O aproveitamento de resíduos para produção de chapas e painéis de madeira reconstituída tem ganhado espaço em função de suas vantagens ambientais e econômicas. A utilização do resíduo gera uma menor exigência da alta quantidade de madeira inicialmente consumida como matéria prima, minimizando custos de aquisição da madeira e da eliminação dos resíduos gerados no processamento.

Além das vantagens econômico-ambientais, os painéis de madeira reconstituída apresentam também aspectos técnicos como a melhoria da estabilidade dimensional, o controle do comportamento anisotrópico e a inibição de defeitos como nós, inclinação de grãos, dentre outros limitantes que a madeira maciça pode apresentar. Tais características atribuem qualidade e versatilidade para o uso dos painéis de madeira reconstituída (PAES et al., 2011).

## 1.1.OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo geral

O presente trabalho teve como objetivo geral determinar a viabilidade técnica da utilização de resíduos oriundos da indústria moveleira para a produção de novas chapas.

### 1.1.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram avaliar as propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas do tipo convencional e MDP, a influência da inclusão laminar e a adição de partículas de *Pinus* para efeito de comparação entre chapas com resíduos e chapas com partículas virgens.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. INDÚSTRIA MOVELEIRA

Segundo Gorini (1998), a indústria moveleira no Brasil se caracteriza pelo pequeno porte de estabelecimentos industriais, dados mostram que empresas de porte médio representam 12% de todos os estabelecimentos moveleiros, porém com 60 % de todos os empregos no ramo e em torno de 75% do valor bruto de toda a produção. Já nas micro e pequenas empresas os números são opostos. São cerca de 88% de empresas registradas, o que gera 33% do número de empregos e com apenas 16% do valor bruto de produção industrial.

Esse setor, considerando principalmente pequenas e médias empresas, descartam enormes quantidades de resíduos madeireiros que podem servir como matéria prima para a produção de painéis ou chapas de madeira reconstituída.

## 2.2.MERCADO DE PAINÉIS:

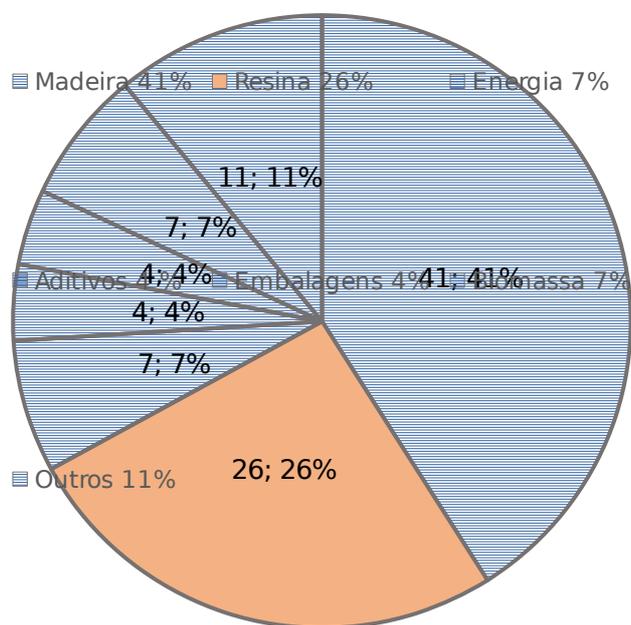
No Brasil, uma fábrica de painel de madeira reconstituída sem linha de revestimento, apresenta uma capacidade média de 350 a 500 mil m<sup>3</sup>/ano seguido de uma demanda de investimento de aproximadamente R\$ 300 milhões. Existem também projetos de fábricas com linhas de revestimento que podem alcançar a produção de até um milhão de metros cúbicos por ano. Estima-se, que para uma fábrica com uma produção média de 500 mil m<sup>3</sup>/ano, alimentada com eucalipto na idade de corte (7 anos) e incremento médio anual (IMA) de 40 m<sup>3</sup>/ha, a área mínima necessária para a floresta plantada seja de 15 a 20 mil ha, (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL, 2010).

A estrutura industrial produtiva de chapas e painéis no Brasil está concentrada em seis grandes empresas. A empresa que apresenta maior desempenho e importância no mercado é a Duratex, ela representou 44% da capacidade produtiva no Brasil em 2008. No entanto, o leque de empresas de compensados de madeira processados mecanicamente é amplo, (BNDES, 2010).

## 2.3.CUSTOS DE PRODUÇÃO DOS PAINÉIS

Quanto aos custos de produção, existem dois principais componentes que são responsáveis diretos por sua variação, madeira e resina. No processo da fabricação de MDF são utilizadas fibras da madeira, e não partículas como no caso do MDP. Essa diferença é responsável pelo maior consumo de resina e madeira no que se refere a produção de chapas MDF. Como consequência, os custos da produção dessas chapas é cerca de 30% superior aos custos da produção de chapas MDP. A figura 1 detalha as proporções de cada componente da fabricação de painéis reconstituídos, (BNDES, 2010).

### Estruturas de custos MDP



### Estruturas de custos MDF

- Madeira 37%
- Resina 30%
- Energia 11%
- Aditivos 3%
- Embalagens 5%
- Biomassa 5%
- Outros 9%

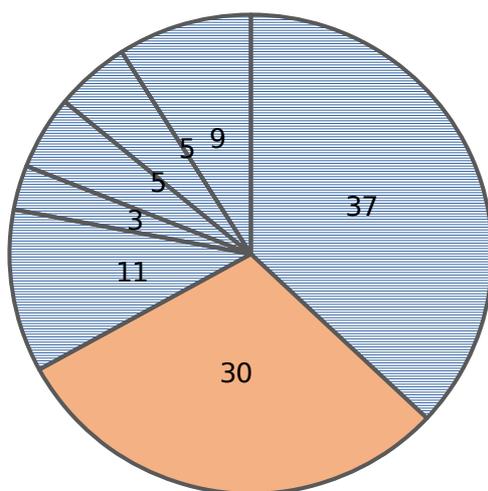


Figura 1 - Estrutura de custos dos painéis de madeira reconstituída.  
 Fonte: Empresas. Elaborado por (BNDES, 2010).

No ano de 2008, a indústria mundial de painéis de madeira obteve um faturamento de aproximadamente US\$ 98,3 bilhões. Cerca de US\$ 57,9 bilhões foram provindos unicamente da fabricação de madeira reconstituída representando mais da metade do faturamento total. O comércio mundial apresentou um alto crescimento principalmente na Europa, que se apresenta como líder de importações e exportações dos painéis, (BNDES, 2010).

O quadro 1 demonstra o panorama do preço médio por metro cúbico e do faturamento do mercado mundial de painéis de madeira no ano de 2008.

Quadro 1: Preço médio e faturamento da indústria de painéis de madeira (2008). Elaboração do BNDES, com base em dados de FAO, Abipa e Abimci.

<b>Painéis de madeira</b>					
<b>Preço / Faturamento</b>	Reconstituída			Processada mecanicamente	<b>Total</b>
	MDP	MDF	Chapa Dura	Compensado	
<b>Preço médio</b>	303,1	360,0	680,9	521,6	<b>466,4</b>
<b>Faturamento (US\$)</b>	31,4	20,6	5,9	40,3	<b>98,3</b>

#### 2.4. RESÍDUOS MADEIREIROS

Segundo Figueiredo (1994), qualquer tipo de resíduo, lixo ou sobra, é simplesmente o acúmulo sortido de elementos que no momento em que ficam agrupados, se tornam uma enorme massa sem qualquer valor comercial e com um enorme potencial negativo ao meio ambiente de acordo com sua composição.

De acordo com Keegan III (1987), a maior parte do resíduo de madeira pode ser utilizável, porém isso não acontece com muita frequência devido aos altos custos de recuperação, além do fato de seu baixo valor comercial e difícil acesso. Existem também dificuldades relacionadas a uniformidade desses resíduos, assim como umidade e poder calorífico. Porém, mesmo com todas as dificuldades, ainda existem alternativas para seu uso, o que aumenta a receita da empresa e evita o acúmulo no meio ambiente.

#### 2.4.1. Classificação dos resíduos

A geração de resíduos no ramo madeireiro é inevitável, e acontece em qualquer tipo de transformação da madeira maciça ou painéis de madeira reconstituída. De acordo com a morfologia das peças, podemos agrupar os resíduos como cavacos (partículas com dimensões máximas de 50 x 20 mm), maravalha (resíduo com mais de 2,5 mm), serragem (partículas provenientes do uso de serras, com dimensões entre 0,5 a 2,5 mm), e por último o pó (resíduos menores que 0,5 mm), (INSTITUTO BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO PARANÁ, 2002).

#### 2.5. UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Os resíduos madeireiros podem ser utilizados em diversas formas como na produção de materiais combustíveis, na agricultura e

principalmente na indústria de chapas e painéis de madeira reconstituída (IBQP, 2002).

O destino final dos resíduos de madeira, na maioria dos casos, possui duas direções, o resíduo pode ser encaminhado para produção de biomassa/energia ou para a produção de chapas e painéis de madeira. Dados de empresas paranaenses mostram que na compra de resíduos, o preço mínimo pago é de R\$20,00 (vinte reais) ou US\$6,50 por metro cúbico, podendo alcançar valores de até R\$90,00 (noventa reais) por metro cúbico em caso de uso de espécies nobres como araucária ou imbuia, (IBQP, 2002).

## 2.6. PAINÉIS DE MADEIRA

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar a anisotropia e a instabilidade dimensional da madeira maciça. Os painéis de madeira reconstituída apresentam boas propriedades isolantes, térmicas e acústicas. E são formadas por uma mistura de partículas ou fibras de madeira aderidas com resina e submetidas à pressão e temperatura, apresentando ainda a possibilidade de acabamentos posteriores, tais como, revestimentos melamínicos, papéis envernizáveis e lâminas ou folhas de madeira natural, (REMADE, 2004).

Dentre os principais tipos de chapas de madeira podemos citar o MDF, MDP e o aglomerado convencional. Também podemos citar as chapas de flocos, que estão em menores proporções no mercado moveleiro e apresentando maior relevância na construção civil, (ABIPA, 2010).

### 2.6.1. Painéis MDP

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominado de “aglomerado” ou MDP, são painéis produzidos com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético, reconstituídos e consolidados através de aplicação de calor e pressão na prensa quente. Outros materiais lignocelulósicos podem ser utilizados em sua fabricação (IWAKIRI, 2005).

O MDP (*Medium Density Particleboard*) é uma chapa de madeira de média densidade, onde suas partículas são dispostas em três camadas de acordo com a granulometria, as partículas são posicionadas de forma diferenciada, as mais finas dispostas nas superfícies externas e as maiores ao centro, formando três camadas. Posteriormente são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética em uma conjunta ação de pressão e calor em prensa contínua, (ABIPA, 2010).

Devido suas características, o MDP é comumente indicado para a indústria moveleira e marcenaria. Dentre suas principais aplicações destacam-se as laterais de móveis, prateleiras, portas retas, divisórias, tampos retos, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta, (ABIPA, 2010).

#### 2.6.2. Painéis MDF

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de fibras de madeira são produzidos a partir de fibras individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina.

O MDF (*Medium Density Fiberboard*) também é aderido com resina e prensado a alta temperatura, porém utiliza-se fibras de madeira ao invés de partículas. O MDF é um painel industrial homogêneo, com bom desempenho nos quesitos estabilidade dimensional, superfície uniforme, lisa e com média densidade, também aceitando acabamentos posteriores, (ABIPA, 2010).

Os painéis de fibras podem ser destinados a uma ampla variedade de aplicações, tais como painéis de isolamento acústico e térmico, móveis, portas, molduras, divisórias internas, revestimentos em geral, entre outras, em função da densidade do painel (IWAKIRI, 2005). Na indústria moveleira são usados em peças com usinagens e trabalho de baixo relevo, nos fundos de móveis, gavetas e também para artesanatos diversos.

Na construção civil é utilizado para fabricação de rodapés, pisos, almofadas de portas, portas usinadas, pés de mesas e também em embalagens, (ABIPA, 2010).

### 2.6.3. Produção de painéis no Brasil

Segundo o estudo setorial da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente - ABIMCI (2009), foram produzidos aproximadamente 2,5 milhões de metros cúbicos de compensados de coníferas e de folhosas pela indústria brasileira em 2008. Segundo informações da Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - ABIPA (2010), empresas responsáveis pela produção de MDF possuem capacidade nominal instalada de 4,1 milhões de metros cúbicos ao ano, ao passo que, empresas fabricantes de painéis MDP apresentam capacidade nominal instalada de 4,8 milhões de metros cúbicos por ano.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS

Os resíduos utilizados no presente trabalho foram obtidos em indústrias moveleiras pertencentes ao pólo moveleiro de Ubá, contendo serragem e aparas de chapas de MDF e lixas descartadas.

Em algumas chapas foram utilizadas também partículas de *Pinus* para avaliar a eficiência da adição das mesmas nas propriedades mecânicas das chapas.

A madeira de *Pinus* foi adquirida na forma de tábuas, sendo estas reduzidas a baguetas e as mesmas foram imersas em água por cerca de 21 dias, até a completa saturação. Após a saturação, as baguetas foram processadas em moinho de facas para produção dos flocos, os quais foram secos ao ar para posterior processamento.

Os flocos, a serragem e as aparas foram processados em moinho de martelo, sendo em seguida selecionadas em peneiras manuais, com malhas de 4, 2 e 1 mm. As partículas retidas na peneira de 4 mm e as que passaram na peneira de 1 mm foram descartadas.

Nas chapas com inclusão laminar foram utilizadas lixas residuais do processo de acabamento de chapas em indústrias moveleiras.

Após a seleção, as partículas foram secas em estufa com ventilação forçada à temperatura de 45°C por 72 horas, até atingirem o teor de umidade igual a 3%. Logo em seguida, foram armazenadas em sacos plásticos.

#### 3.2. CONFECÇÃO DAS CHAPAS

O adesivo utilizado na confecção das chapas foi a uréia-formaldeído, Cascamite PL2030, contendo 65,0% de sólidos resinosos, pH de 7,90 e viscosidade de 900 cp. Para a produção do MDP, foi utilizado 6% de adesivo nas partículas maiores (miolo) e 10% nas partículas menores que formaram as faces.

Para as chapas de aglomerado com inclusão laminar foi utilizada gramatura de 250 g/m<sup>2</sup> nas lâminas que compuseram a face e contra-face do painel.

A aplicação do adesivo nas partículas foi feita em um tambor encolador, dotado de uma pistola de pintura acionada por ar comprimido.

Para a confecção do colchão das chapas, foi utilizada uma forma de madeira, vazada, medindo 40 x 40 cm, onde as partículas foram distribuídas, tendo o cuidado de manter a uniformidade para evitar diferenças de gradiente na chapa.

Todas as chapas foram prensadas a uma temperatura de 160°C e a uma pressão de 30 kgf/cm<sup>2</sup>, por 8 minutos, contados a partir do fechamento da prensa.

Procurou-se produzir todos os painéis com uma densidade próxima de 0,70 g/cm<sup>3</sup> e espessura igual a 1cm.

Após, serem retiradas da prensa, as chapas foram acondicionadas em uma caixa de madeira, por um período de 72 horas.

3

### 3.3. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Após a aclimação, as chapas foram retiradas da caixa e esquadrejadas, apresentando dimensões de 38 X 38 cm, sendo posteriormente lixadas. Em seguida, foram recortadas para obtenção dos corpos de prova, sendo os mesmos identificados segundo o tratamento e a repetição.

Os corpos-de-prova foram climatizados até o equilíbrio, a uma umidade relativa de (65±5)% e a uma temperatura de (20±3)°C,

conforme estabelecido pelas normas ASTM-D 1037(1991) e ABNT (NBR 14810-3), 2002.

Os ensaios foram feitos em uma máquina de ensaio universal da marca CONTENCO, utilizando o software Pavitest e conforme a norma da ABNT (NBR 14810-3), 2002, e os valores obtidos nos testes, foram comparados com as normas disponíveis para chapas aglomeradas.

A Figura 2 demonstra a posição e o número de corpos-de-prova que foram retirados de cada chapa, bem como o tipo de ensaio o qual esses foram utilizados.

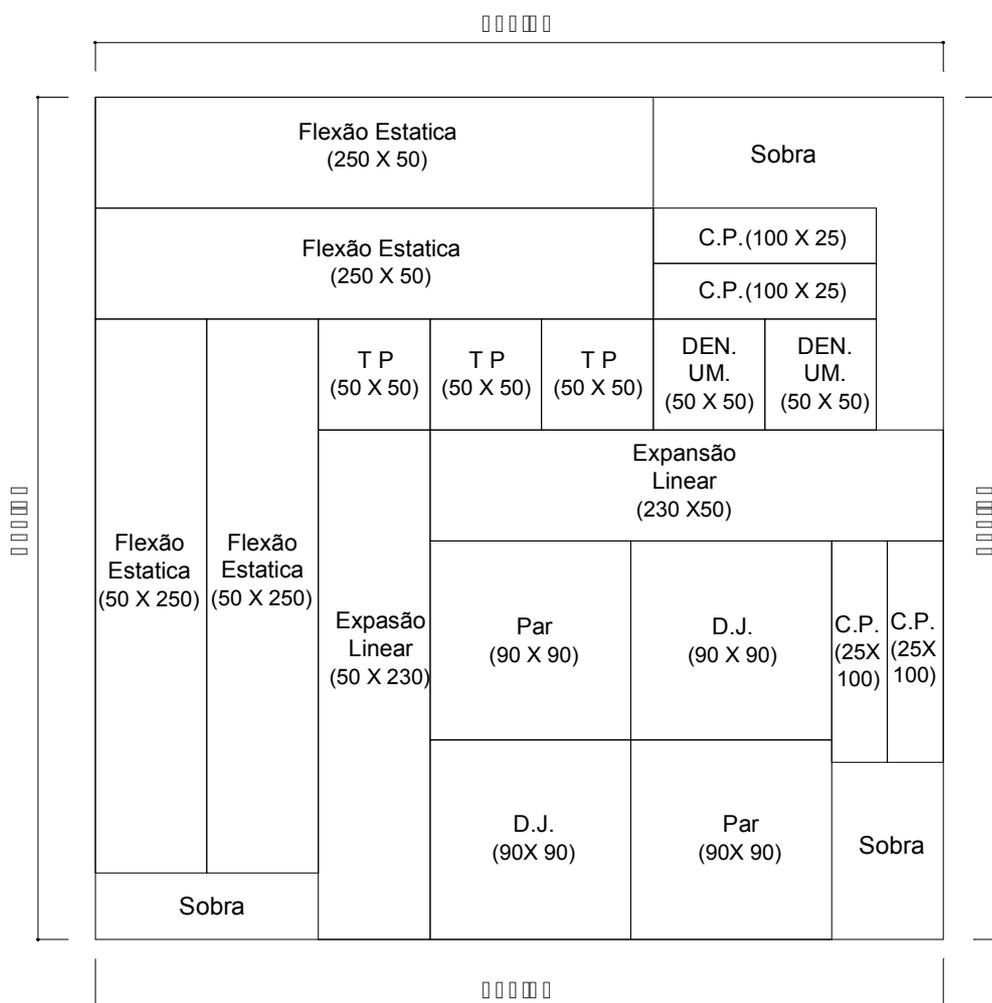


Figura 2. Representação da posição dos corpos-de-prova no painel. Onde: PAR = Arrancamento de parafuso; D.J = Dureza Janka; C.P = Compressão perpendicular; T.P = tração perpendicular; DEN. = Densidade; UM. = Teor de umidade. Fonte: (CABRAL, 2010)

O Quadro 2, mostra alguns valores de referência, para as propriedades de chapas de madeira aglomerada. Fonte: Adaptado de ANSI/A 208.1 - 1993 "Wood Particleboard"

Classificação	Inchamento em Espessura			Expansão Linear (%)	Absorção em Água		Flexão Estática		Ligação Interna (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Dureza (kgf)	Arrancamento de Parafuso (Kgf)	
	Tolerância média do painel (%)				2 h	24 h	MOE (Kgf/cm <sup>2</sup> )	MOR (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Face	Borda
	Amb	2 h	24 h									
H - 1	NE	NE	NE	NE	NE	NE	24.000	165	9	222,5	180	132,5
H - 2	NE	NE	NE	NE	NE	NE	24.000	205	9	445,0	190	155,0
H - 3	NE	NE	NE	NE	NE	NE	27.500	235	10	667,5	200	155,0
M - 1	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	17.250	110	4	222,5	NE	NE
M - S	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	19.000	125	4	222,5	90	80
M - 2	NE	6*	15*	0,35	10**	15**	22.500	145	4,5	222,5	100	90
M - 3	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	27.500	165	5,5	222,5	110	100
LD - 1	NE	6	15	0,35	10	15	5.500	30	1,0	NE	40	NE
LD - 2	NE	NE	NE	0,35	NE	NE	10.250	50	1,5	NE	55	NE

Onde: H - Alta densidade (superior a 800 kg/m<sup>3</sup>).

M - Média densidade (640 - 800 kg/m<sup>3</sup>).

MS - Densidade média especial (Propriedades físicas entre M-1 e M-2).

LD - Baixa densidade (menor que 640 kg/m<sup>3</sup>)

NE -Não-especificado.

\* Norma DIN 68m761 (1) - 1961 (SANTANA & PASTORE, 1981)e \*\* norma CSA 0437-1993.

#### 4. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi instalado seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com 4 tipos de chapas e três repetições, totalizando 12 chapas.

A análise dos resultados das propriedades físicas e mecânicas foi realizada por meio de análise de variância (ANOVA). Para a comparação entre as médias das propriedades nos diferentes tratamentos, quando estabelecidas as diferenças pela ANOVA, foi realizado o teste de Tukey em nível de 5% de significância.

A seguir, no quadro 3 estão listados os tipos de chapas fabricadas.

Quadro 3: Tipo de chapa fabricada para cada tratamento.

<b>Tratamento</b>	<b>Tratamento</b>
<b>T1</b>	Aglomerado convencional
<b>T2</b>	Chapas MDP
<b>T3</b>	Aglomerado com inclusão laminar
<b>T4</b>	Aglomerado composto de 50% de partículas de <i>Pinus</i>

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.4. PROPRIEDADES FÍSICAS

#### 5.1.1. Densidade

O valor médio da densidade das chapas foi de  $0,81 \text{ g/cm}^3$ , com uma amplitude de variação entre  $0,73$  a  $0,88 \text{ g/cm}^3$ , conforme pode ser observado no Quadro 4 e na Figura 3. Segundo a norma NBR 14810 (2002), as chapas com densidade acima de  $0,75 \text{ g/cm}^3$  são classificadas como de alta densidade, enquanto que nas especificações da norma ANSI/A 208.1 (1993) somente as chapas acima de  $0,80 \text{ g/cm}^3$  são classificadas como de alta densidade.

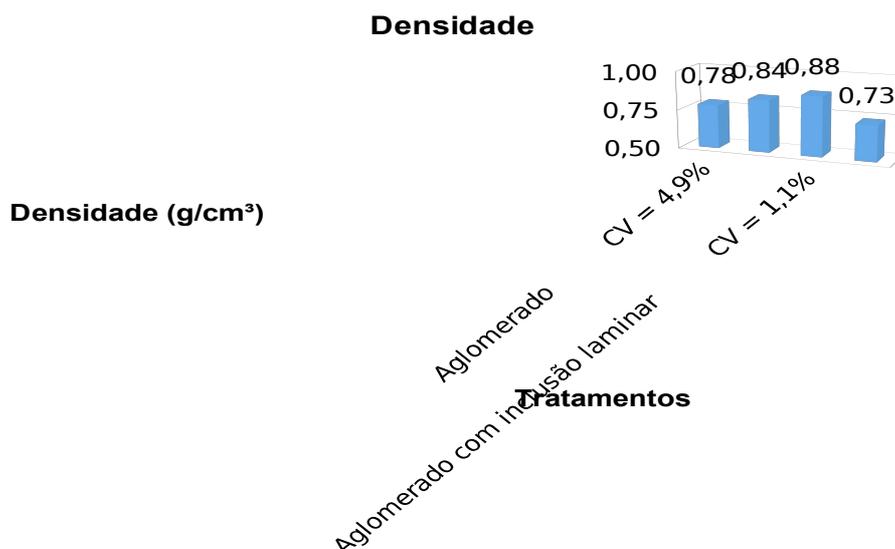


Figura 3 - Valores médios de densidade (g/cm<sup>3</sup>) das chapas em função dos tratamentos.

As chapas produzidas com resíduos de MDF apresentaram um maior adensamento na prensa e por consequência uma maior densidade, isso se deve ao fato de que, as fibras já haviam passado, anteriormente, por um processo de prensagem, colagem e submetidas a aplicação de calor, o que provavelmente causou danos na sua estrutura e as deixou mais fáceis para serem adensadas.

As chapas com resíduo de MDF que tiveram adição de partículas virgens de *Pinus* tiveram a densidade próxima de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, o que mostra a influência da qualidade da partícula nas propriedades das chapas e durante a sua fabricação.

Quadro 4 - Comparação entre médias das propriedades físicas das chapas, pelo teste de Tukey.

Tratamentos	Densidade	Teor de Umidade	Absorção de água, após 2 horas de imersão	Inchamento em espessura, após 2 horas de imersão
Aglomerado	0,78 (b, c)	6,94 (b)	6,46(b)	5,6 (b)
MDP	0,83 (a, b)	6,41 (b)	5,44 (b)	5,0 (b)
Aglomerado com inclusão Laminar	0,88 (a)	6,34 (b)	6,25 (b)	5,0 (b)
Aglomerado com adição de partículas de <i>Pinus</i>	0,73 (c)	7,87 (a)	55,75 (a)	19,6 (a)

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

#### 5.1.2. Teor de Umidade (%)

Os valores médios de umidade (%), após equilíbrio a 20° C e 65% de umidade relativa, são apresentados no Quadro 2 e na Figura 4. Observa-se que estes valores variaram entre 6,34% e 7,87% de acordo com o tipo de chapa e a composição de partículas. Pela norma NBR 14810 (2002) o teor de umidade médio das chapas não deve ser inferior a 5% e nem superior a 11%.

Nota-se, que somente as chapas produzidas com partículas de MDF em adição com partículas de *Pinus*, obtiveram valores médios acima de 7 %, sendo pelo teste de médias superior as demais. Isso provavelmente, se deve ao fato, dessas chapas terem sido menos adensadas durante a prensagem e também porque parte das partículas de sua constituição estavam sendo submetidas à prensagem pela primeira vez.

As chapas contendo apenas partículas provenientes de MDF, por já apresentarem traços de adesivo curado e por terem sido submetidas anteriormente ao aquecimento, provavelmente se tornaram mais hidrofóbicas, adsorvendo menos água do meio.

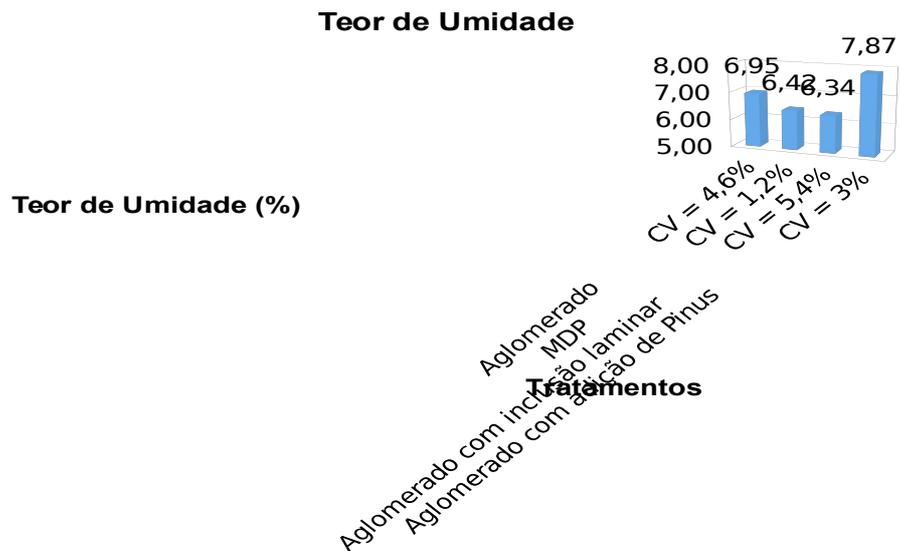


Figura 4 - Valores médios de teor de umidade (%) das chapas.

### 5.1.3. Absorção de Água (após 2 horas de imersão)

Na Figura 5 e no Quadro 4 podem ser observados os valores médios para absorção de água, após 2 horas de imersão. Observa-se que os menores valores ocorreram nas chapas que tiveram na sua composição 100% de partículas oriundas de outras chapas. Este pode ter sido ocasionado por alguma modificação química na estrutura das fibras, devido aos processos anteriores de prensagem e colagem. Tais modificações ocorridas podem ser devido a formação de pontes metilênicas durante as reações de cura do adesivo, na produção da chapa MDF.

Nas chapas do tipo MDP, por haver uma seleção e estratificação por tamanho de partículas nas chapas, sendo as mais finas dispostas nas superfícies, não houve diferença estatística entre essas e as demais chapas fabricadas somente com resíduo de MDF, porém numericamente as chapas do tipo MDP absorveram menos água que as demais.

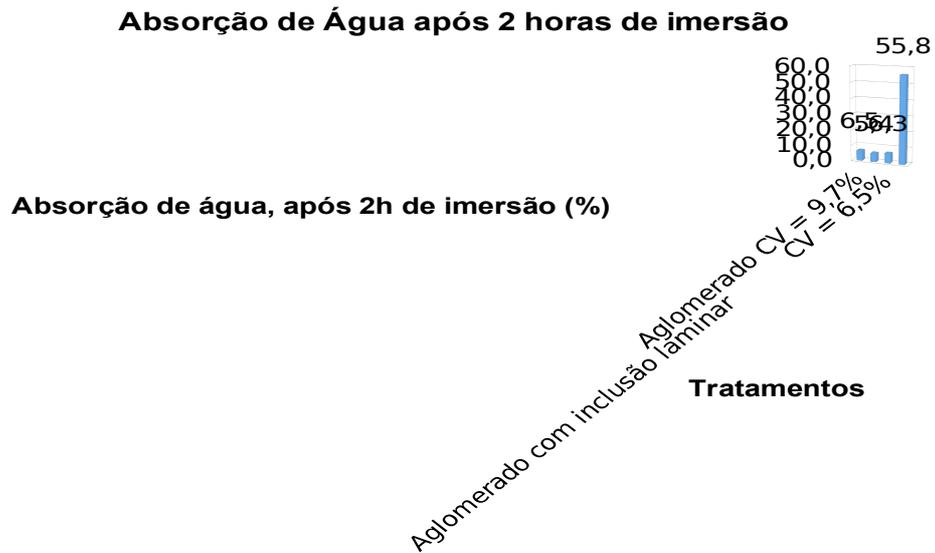


Figura 5 - Valores médios de absorção de água (%) das chapas.

#### 5.1.4. Inchamento em Espessura (após 2 horas de imersão)

Para a propriedade inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, observa-se na Figura 6, que o comportamento das chapas para esta propriedade foi semelhante a absorção de água, após 2 horas de imersão, devido aos fatores já citados anteriormente. As chapas onde empregaram-se partículas de *Pinus* apresentaram maiores valores de inchamento, provavelmente, por terem maior quantidade de hidroxilas livres.

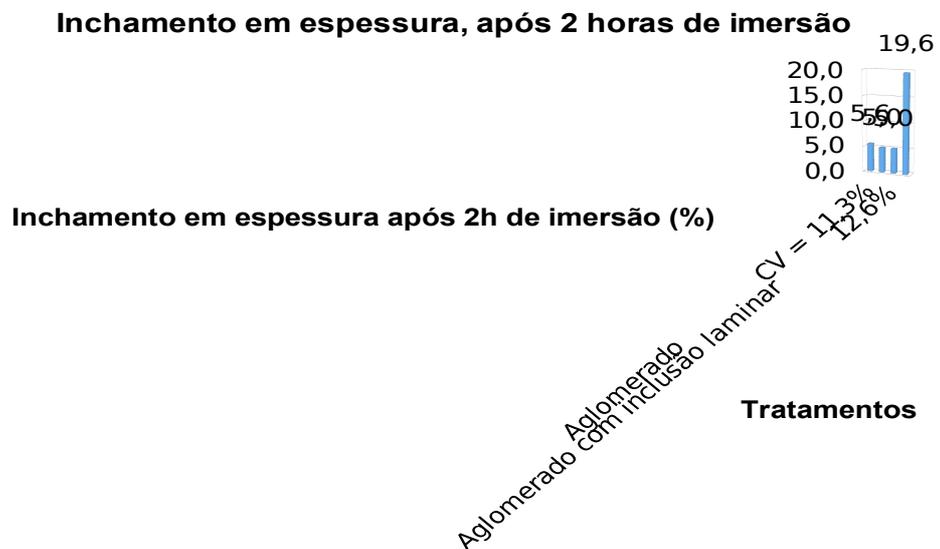


Figura 6 - Valores médios de inchamento em espessura (%) das chapas.

### 3.5. ENSAIOS MECÂNICOS

#### 5.2.1. Dureza Janka

A dureza Janka, mede a resistência do painel a penetração da metade de uma esfera de 11,3 mm de raio.

A norma ANSI/A 208.1 (1993), estipula um valor mínimo de 222,5 kgf de dureza Janka para atender as especificações de mercado, todas as chapas, apresentaram valores médios superiores ao estipulado pela norma, conforme pode ser observado na Figura 6.

A amplitude de variação foi de 476 a 1021 kgf, esta variação pode ser atribuída principalmente ao tipo de chapa produzida. As chapas de aglomerado com inclusão laminar, por apresentarem revestimento com lixa na superfície, tiveram maior resistência a penetração da esfera durante o ensaio, enquanto que as chapas de aglomerado convencional tanto as constituídas exclusivamente com partículas de resíduo de MDF, quanto as que tiveram adição de partículas de *Pinus*, apresentaram valores mais baixos, 586 e 476 kgf, respectivamente. As chapas do tipo MDP por apresentarem partículas mais finas na superfície apresentaram valores superiores as de aglomerado convencional.

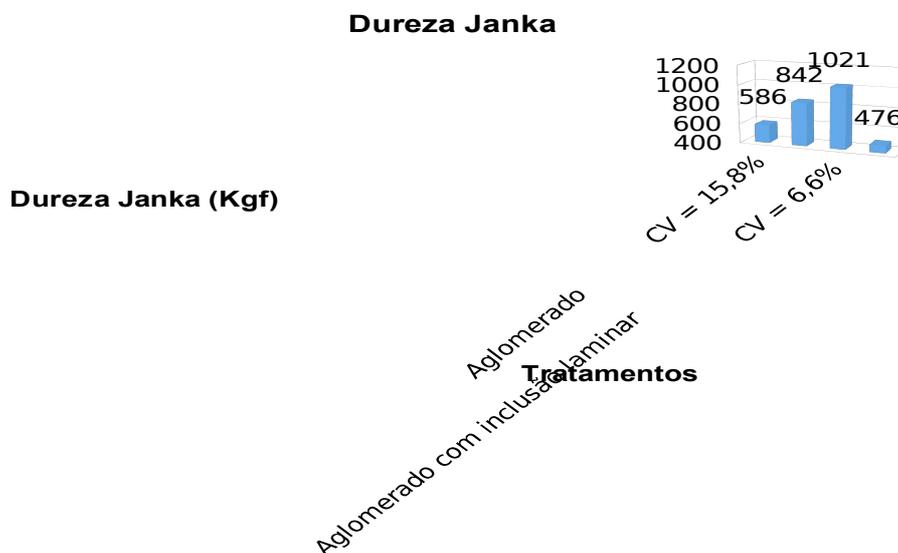


Figura 7 - Valores médios de dureza Janka (kgf) das chapas.

### 5.2.2. Tração Perpendicular

A resistência à tração perpendicular é uma das propriedades mais importantes na avaliação de um painel, pois permite tirar conclusões referentes ao comportamento do adesivo com os componentes químicos da madeira, nas reações de adesão, além de avaliar a eficiência no tempo e temperatura de prensagem entre outros.

Na norma NBR 14810 (2002), o mínimo exigido para atender as especificações do mercado é de 4 kgf/cm<sup>2</sup>. Conforme pode ser observado na Figura 8, os valores médios das chapas de todos os tratamentos foram superiores ao mínimo exigido pela norma. Pode ser observado no gráfico da Figura 8, que os menores valores para tração perpendicular foram das chapas de aglomerado com inclusão laminar, isso se deve ao fato, de que durante o ensaio, o rompimento dos corpos de prova das chapas ocorreu na superfície, ou seja, nas lixas que estavam recobrendo a superfície das chapas. Os valores mais altos à tração foram das chapas do tipo MDP, onde houve um maior adensamento das chapas e conseqüentemente, maior resistência na ruptura à tração, conforme pode ser observado no Quadro 5 e na Figura 8.

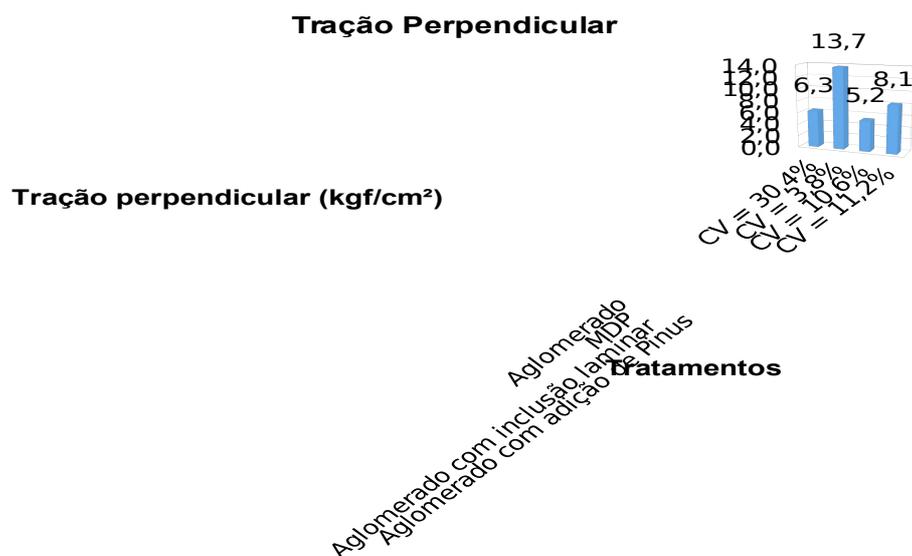


Figura 8 - Valores médios de tração perpendicular (kgf/cm<sup>2</sup>) das chapas.

Quadro 5 - Comparação entre médias das propriedades mecânicas das chapas, pelo teste de Tukey.

Tratamentos	Arrancamento de Parafuso	Compressão Longitudinal	Tração Perpendicular	Flexão Estática (Módulo de Elasticidade)
Aglomerado	153 (b)	90 (c)	6,3 (b)	17883 (b)
MDP	215 (a, b)	126 (b)	13,7 (a)	18281 (b)
Aglomerado com inclusão Laminar	240 (a)	141 (a)	5,2 (b)	29565 (a)
Aglomerado com adição de partículas de <i>Pinus</i>	187 (a, b)	126 (b)	8,1 (b)	18929 (b)

\*Médias seguidas de mesma letra maiúscula, numa mesma coluna, não diferem entre si em nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

### 5.2.3. Arrancamento de Parafuso

Os valores médios da resistência ao arrancamento de parafuso variaram de 153 a 240 kgf, conforme pode ser observado na Figura 9. Esse ensaio é muito importante na indústria moveleira, principalmente na união das partes de móveis, tais como portas, gavetas e prateleiras.

Na norma ANSI/A (1993), é estipulado um valor mínimo de 180 kgf para chapas com densidade superior a 0,80 g/cm<sup>3</sup> e de 100 kgf para chapas com densidade inferior 0,80 g/cm<sup>3</sup>, fabricadas comercialmente. Todas as chapas apresentaram valores superiores ao mínimo exigido pela norma, dentro de sua classificação de densidade.

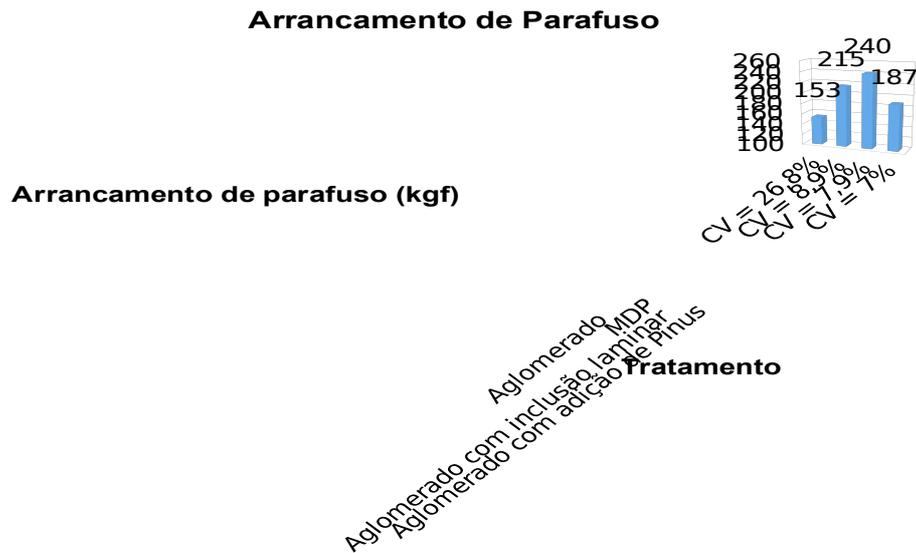


Figura 9 - Valores médios de arrancamento de parafuso (kgf) das chapas.

#### 5.2.4. Compressão Longitudinal

Os valores médios de resistência à compressão longitudinal podem ser observados na Figura 10. Este ensaio é mais importante para avaliar painéis estruturais, porém ele também pode ser aplicado para fazer inferências sobre a resistência mecânica de chapas aglomeradas. As chapas que obtiveram os maiores valores de resistência neste ensaio foram as do tipo aglomerado com inclusão laminar. Provavelmente, as superfícies recobertas por lixas deram um melhor reforço para a sustentação do corpo de prova durante a compressão. As menores médias foram das chapas do tipo aglomerado convencional contendo somente partículas providas de MDF, além da influência da densidade, também pode-se atribuir a menor resistência dessas chapas, à degradação das partículas, devido as mesmas terem sido submetidas ao processo de prensagem e colagem por 2 vezes, o que leva a um maior dano as fibras da madeira e conseqüentemente, afetou as propriedades das chapas.

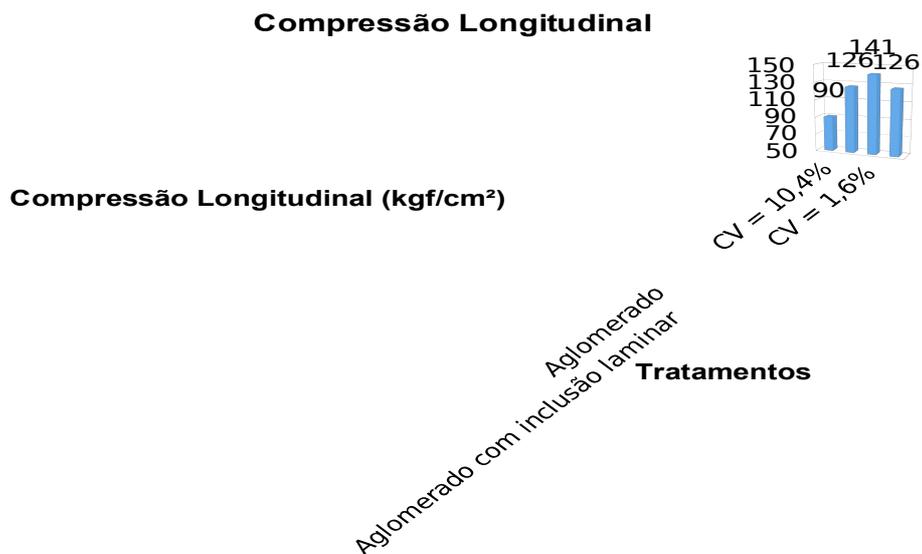


Figura 10 - Valores médios de compressão longitudinal (kgf/cm<sup>2</sup>) das chapas.

#### 5.2.5. Módulo de Ruptura na Flexão Estática

Os valores médios do módulo de ruptura na flexão estática estão representados na Figura 11. O valor mínimo estipulado pela norma NBR 14810 (2002) é de 180 kgf/cm<sup>2</sup>. Conforme pode ser observado na Figura 11 e no Quadro 5, todas as chapas fabricadas com resíduos de MDF e também as chapas aglomeradas com adição de partículas de *Pinus*, alcançaram os valores mínimos estipulados pela norma brasileira. Observa-se que as maiores médias para módulo de ruptura, foram das chapas com inclusão laminar (354 kgf/cm<sup>2</sup>), pois a lâmina de lixa influenciou, positivamente, nos esforços de compressão e tração durante o ensaio de flexão estática. O tipo de partícula na composição das chapas também influenciou nos resultados para módulo de ruptura na flexão estática. As chapas de aglomerado que tiveram na sua composição partículas de *Pinus* apresentaram maiores médias, em relação, as chapas do tipo aglomerado constituídas somente por partículas de MDF.

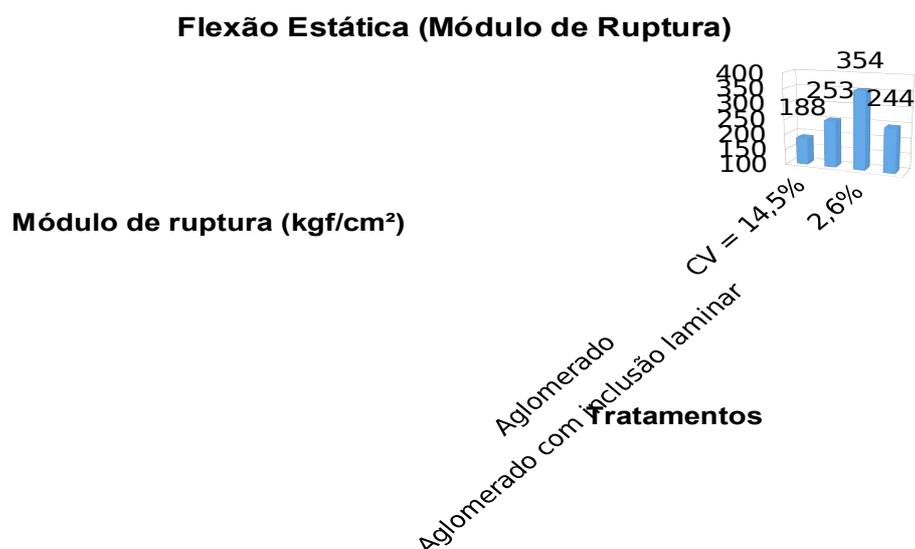


Figura 11 - Valores médios de flexão estática, módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>), das chapas.

#### 5.2.6. Módulo de Elasticidade na Flexão Estática

Os valores médios do módulo de elasticidade, na flexão estática, variaram entre 17883 e 29565 kgf/cm<sup>2</sup>, conforme pode ser observado na Figura 12. Segundo a norma ANSI/A 208.1 (1993), o valor mínimo de resistência exigido neste ensaio para as chapas aglomeradas é de 17250 kgf/cm<sup>2</sup>. Conforme pode ser visto no gráfico da Figura 12, todas as chapas apresentaram valores acima do mínimo estipulado pela norma. No Quadro 5, na comparação entre as médias dos tratamentos pelo teste de Tukey, o maior valor médio para módulo de elasticidade, na flexão estática, foi das chapas do tipo aglomerado com inclusão laminar. Pelas mesmas razões, já citadas anteriormente, as lâminas de lixa nas superfícies dessas chapas, proporcionaram uma maior resistência durante o ensaio. Os demais tipos de chapas não diferiram estatisticamente entre si neste ensaio, quanto ao módulo de elasticidade.



Figura 12 - Valores médios de flexão estática, módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>), das chapas.

## 6. CONCLUSÕES

O tipo de partícula influenciou nas propriedades físicas das chapas de aglomerado, as chapas produzidas apenas utilizando resíduos de MDF apresentaram uma densidade superior ao valor pré-estabelecido, por ter uma maior compactação. As chapas que tiveram adição de partículas de madeira de *Pinus* sp, originaram chapas menos resistentes a absorção e inchamento em espessura, após 2 horas de imersão em água.

As chapas de aglomerado com inclusão laminar, tiveram os maiores valores médios de resistência na dureza Janka, compressão longitudinal, módulo de ruptura e módulo de elasticidade na flexão estática.

Comparando as chapas de MDP com as chapas aglomeradas onde foi utilizado o mesmo tipo de resíduo, as chapas de MDP tiveram resultados superiores as de aglomerado convencional para os ensaios mecânicos.

De modo geral, conclui-se que é tecnicamente viável a produção de chapas com resíduos da indústria moveleira.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE . **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009. Acesso em: 04 jul. 2014.

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA . **Nossos produtos**. 2010. Disponível em:<<http://www.abipa.org.br/produtosCF.php>>. Acesso em: 04 jul. 2014.

ABIMÓVEL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MOBILIÁRIO . **Estudo setorial 2012** Disponível em: [www.abimovel.com](http://www.abimovel.com). Acesso em 15 set. 2014.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat-formed wood particleboard**: specification ANSI/A 208.1.1993. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS-ASTM. **Standard test methods for evaluating properties of wood-**

**base fiber and particle panels:** ASTM D 1037-91. Philadelphia: ASTM, v.04.09, 1991. (Annual Book of ASTM Standards).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de Madeira Aglomerada- Métodos de Ensaio.** ABNT NBR 14810-3. Março, 2002.

BELLOTE, A F. J.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; FERREIRA, C. A. **Resíduos da Indústria de celulose em plantios florestais.** Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 37, p. 99-106, jul./dez, 1998.

BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES.; **Panorama de mercado: painéis de madeira,** Estudo Setorial 32, p. 49-90. Setembro/2010.

FIGUEIREDO, P. J. M. **A sociedade do lixo - Os resíduos, a questão energética e a crise ambiental.** Piracicaba: Unimep, Universidade Metodista de Piracicaba, 1994, 240 p.

GORINI , A. P. F. **Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com ênfase na competitividade externa a partir do desenvolvimento da cadeia industrial de produtos sólidos de madeira .** BNDES Setorial 8, Rio de Janeiro: BNDES, set. 1998. Disponível em: [www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br). Acesso em 12 set. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO PARANÁ - IBQP. **Análise da competitividade da cadeia produtiva da madeira no estado do Paraná.** Curitiba. 2002. 345 f. Relatório Final. IBQP.

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

KEEGAN III, C.E. **Utilizing wood residue for energy generation in northwestern Montana - a feasibility assessment.** USDA. Forest Service Int Gt, (234): 1-39, 1987.

MACEDO, A. R. P. e ROQUE, C. A. L., BNDES: **Infraestrutura e Desenvolvimento -Setembro de 1997.** Disponível em: [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta\\_Expressa/Tipo/BNDES\\_Setorial/199709\\_4.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/199709_4.html)>Acesso em: 04 jul. 2013.

OLANDOSKI, D. P. Rendimento. **Resíduos e considerações sobre melhorias no processo em indústria de chapas compensadas.** Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/handle/1884/25215>. Acesso em: 24 fev. 2015.

PAES, J. B; NUNES, S. T; LAHR, F. A. R; NASCIMENTO, M. F; LACERDA, R. M. A. **Qualidade de chapas de partículas de *pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, jul.-set., 2011.

PEREIRA JÚNIOR, V. B. **Alternativas para a co-geração de energia de uma indústria de chapas de fibra de madeira,** Energia na Agricultura, v.17, n.1, p.34-37, 2001.

REMADE. **Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado.** *Revista daMadeira*, Curitiba - PR, ano 14, n. 84, out. 2004a. Disponível em [www.remade.com.br](http://www.remade.com.br). Acesso em: 05 de jul 2013.

