

**ANANDA MORAIS BARBOSA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PAINÉIS MDF COMERCIALIZADOS NA  
REGIÃO DE PELOTAS**

Trabalho Acadêmico apresentado ao  
Curso de Engenharia Industrial  
Madeireira da Universidade Federal  
de Pelotas, como requisito parcial à  
obtenção do título de Engenheiro  
Industrial Madeireiro.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Érika da Silva Ferreira

Co-Orientador: Prof. Dr. Darci Alberto Gatto

Pelotas, 2010

**Banca examinadora:**

Érika da Silva Ferreira, Dr<sup>a</sup>. (Centro de Engenharias – UFPel)

Cristiane Pedrazzi, Dr<sup>a</sup>. (Centro de Engenharias – UFPel)

Merielen de Carvalho Lopes, Dr<sup>a</sup>. (Centro de Engenharias – UFPel)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**

**CENTRO DE ENGENHARIAS**

A comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DOS PAINÉIS MDF COMERCIALIZADOS  
NA REGIÃO DE PELOTAS**

Elaborado por

Ananda Morais Barbosa

como requisito parcial para a obtenção do título de

**Engenheiro Industrial Madeireiro**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

Érika da Silva Ferreira, Dr<sup>a</sup>. (Presidente/Orientadora)

---

Cristiane Pedrazzi, Dr<sup>a</sup>. (1<sup>o</sup> examinadora)

---

Merielen de Carvalho Lopes, Dr<sup>a</sup>. (2<sup>o</sup> examinadora)

Pelotas, 25 de novembro de 2010

Aos meus amados pais, José Darci  
(*in memoriam*) e Lindamir, irmão,  
Guilherme e ao sempre companheiro  
Rafael dedico este trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela minha vida e por conduzir meus passos;

À orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika da Silva Ferreira, por todo o auxílio e por acreditar em mim;

Ao co-orientador, Prof. Dr. Darci Alberto Gatto, por todos os momentos de reflexão e apoio.

Aos membros da banca avaliadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cristiane Pedrazzi e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Merielen Lopes pelas correções e sugestões apresentadas.

Aos demais professores e funcionários do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas pelas contribuições a minha formação;

Às amigas, sempre presentes, Aline Machado, Natália Silveira e Thiara Macedo, pela força, compreensão e companheirismo durante todo o curso.

Às empresas, Aleixo Madeira, Madeirão, Madeireira Fernando Osório, Menegotto e Zibeti, por participarem do estudo;

À Universidade Federal de Santa Maria, por possibilitar a execução dos ensaios físico-mecânicos e ao mestrando Wesley Moraes pelo fundamental auxílio;

À Cleni e Ricardo Marques pela grande amizade, pelo apoio e por me acolherem como filha;

As demais pessoas, que contribuíram para a minha formação.

## Resumo

BARBOSA, Ananda Moraes. **Avaliação da qualidade dos painéis MDF comercializados na região de Pelotas**. 2010. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro das Engenharias, Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A produção de painéis MDF encontra-se em franca expansão no Brasil, sendo essa produção voltada principalmente para o consumo interno. Dentre as aplicações do painel MDF a revenda ocupa uma significativa parcela do mercado. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade dos painéis MDF comercializados no município de Pelotas – RS. Para determinação das empresas que fabricam painéis MDF no país e possuem representatividade na região, foi realizado um levantamento nos estabelecimentos que comercializam madeira e derivados, buscando quais empresas fabricantes têm painéis MDF disponíveis no mercado do município. Posteriormente, foram adquiridos quatro painéis sem revestimento, um para cada empresa fabricante, com 18 mm de espessura, para avaliação da qualidade dos MDF. As seguintes propriedades foram avaliadas: densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas, flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade), resistência a tração perpendicular e arrancamento de parafuso de superfície e topo. Os ensaios foram realizados de acordo com as normas ASTM D 1037 (1999) e ABNT NBR 15316 (2006). A pesquisa nas madeireiras revelou que quatro empresas brasileiras fabricantes de painéis MDF estão presentes no comércio do município de Pelotas. As madeireiras revendem os painéis MDF principalmente para marceneiros. Em relação às propriedades físico-mecânicas avaliadas, os resultados observados foram satisfatórios, estando de acordo com os requisitos da norma ANSI A 208.2 (1994), tendo como exceção os valores encontrados para resistência a tração perpendicular em duas empresas avaliadas.

Palavras-chave: Mercado; MDF; Qualidade; Propriedades físico-mecânicas.

## **Abstract**

BARBOSA, Ananda Morais. **Evaluation the quality of MDF marketed in region of Pelotas**. 2010. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro das Engenharias, Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

The MDF production is booming in Brazil, and this production is geared mainly for domestic consumption. Among the applications of MDF the resale occupies a significant market share. Thus, this study aimed to evaluate the quality of MDF marketed in Pelotas – RS. To determine the companies that manufacture MDF in the country and have representation in the region, a survey was conducted in establishments that sell wood, seeking industries that have MDF available in the city. Subsequently, four panels were acquired, one for each manufacturer, with 18 mm thickness and without coating, for assessing the quality MDF. The following properties were evaluated: density, moisture content, water absorption and thickness swelling after 2 and 24 hours, modulus of rupture, modulus of elasticity, tensile strength perpendicular to surface and direct screw withdrawal. The tests were performed according to standards ASTM D1037 (1999) e ABNT NBR 15316 (2006). The survey revealed that four Brazilian companies MDF manufacturers are present in the trade of Pelotas. The MDF is mainly sold to woodworkers. The results were satisfactory, according to the requirements of standard ANSI A 208.2 (1994), except the values found for two companies in the tests of tensile strength perpendicular to surface.

Keywords: MDF; Quality; Physical and mechanical properties.

## Lista de Figuras

Figura 1 Esquema simplificado de painéis de madeira reconstituída .....	19
Figura 2 Esquema Ilustrativo do Processo Produtivo de Painéis MDF .....	26
Figura 3 Localização das unidades industriais de MDF no Brasil.....	28
Figura 4 Evolução do consumo nacional de painéis reconstituídos .....	30
Figura 5 Evolução da produção, importação e exportação nacional de MDF....	30
Figura 6 Aplicação doméstica dos painéis MDF .....	33
Figura 7 Layout de corte para confecção dos corpos de prova .....	36
Figura 8 Ensaios para avaliação das propriedades mecânicas dos painéis MDF .....	38



## Lista de Tabelas

Tabela 1	Painéis de Fibras de Madeira .....	21
Tabela 2	Produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal instalada no Brasil para painéis MDF .....	31
Tabela 3	Número e dimensões dos corpos de prova utilizados para os ensaios físico-mecânicos dos painéis MDF .....	37
Tabela 4	Estudo de Mercado .....	40
Tabela 5	Preço dos painéis MDF no município de Pelotas .....	41
Tabela 6	Valores Médios para o Teor de Umidade dos Painéis MDF por Fabricante .....	42
Tabela 7	Valores Médios para Densidade dos Painéis MDF por Fabricante .....	43
Tabela 8	Valores Médios para Absorção de Água após 2 horas e 24 horas dos Painéis MDF por Fabricante .....	45
Tabela 9	Valores Médios para Inchamento em Espessura após 2 horas e 24 horas dos Painéis MDF por Fabricante .....	46
Tabela 10	Requisitos de Propriedades Mecânicas para painéis MDF .....	48
Tabela 11	Valores Médios para Módulo de Ruptura (MOR) dos Painéis MDF por Fabricante .....	48
Tabela 12	Valores Médios para Módulo de Elasticidade (MOE) dos Painéis MDF por Fabricante .....	49
Tabela 13	Valores Médios para Resistência a Tração Perpendicular dos Painéis MDF por Fabricante .....	50
Tabela 14	Valores Médios para Arrancamento de Parafuso de Superfície e Topo dos Painéis MDF por Fabricante .....	52

Tabela 15 Análise de variância para teor de umidade .....	61
Tabela 16 Parâmetros estatísticos para teor de umidade .....	61
Tabela 17 Análise de variância para densidade.....	61
Tabela 18 Parâmetros estatísticos para densidade .....	62
Tabela 19 Análise de variância para absorção de água 2 horas.....	62
Tabela 20 Parâmetros estatísticos para absorção de água 2 horas .....	62
Tabela 21 Análise de variância para log absorção de água 24 horas.....	63
Tabela 22 Parâmetros estatísticos para absorção de água 24 horas .....	63
Tabela 23 Análise de variância para inchamento em espessura 2 horas .....	63
Tabela 24 Parâmetros estatísticos para inchamento em espessura 2 horas .....	64
Tabela 25 Análise de variância para inchamento em espessura 24 horas .....	64
Tabela 26 Parâmetros estatísticos para inchamento em espessura 24 horas .....	64
Tabela 27 Análise de variância para módulo de ruptura .....	65
Tabela 28 Parâmetros estatísticos para módulo de ruptura.....	65
Tabela 29 Análise de variância para módulo de elasticidade.....	65
Tabela 30 Parâmetros estatísticos para módulo de elasticidade .....	66
Tabela 31 Análise de variância para resistência a tração perpendicular.....	66
Tabela 32 Parâmetros estatísticos para resistência a tração perpendicular .....	66
Tabela 33 Análise de variância para arrancamento de parafuso de superfície ....	67
Tabela34 Parâmetros estatísticos para arrancamento de parafuso de superfície.....	67

Tabela 35 Análise de variância para arrancamento de parafuso de topo .....	67
Tabela 36 Parâmetros estatísticos para arrancamento de parafuso de topo .....	68

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ABIPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS

ANSI - *AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE*

ASTM - *AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS*

EN - *EUROPEAN NORM*

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO

HDF - *HIGH DENSITY FIBERBOARD*

ITEPA - INSTITUTO TÉCNICO DE PESQUISA E ASSESSORIA

LPF – LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

MDF - *MEDIUM DENSITY FIBERBOARD*

OSB - *ORIENTED STRANDBOARD*

UFPEL – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

UFSM – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA

## Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Painéis de Madeira.....</b>	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Painéis de Fibras de Madeira.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Painel de Média Densidade - MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>).....</b>	<b>22</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Processo Produtivo dos Painéis MDF .....</b>	<b>25</b>
<b>3.3</b>	<b>Mercado de Painéis de Madeira no Brasil .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2</b>	<b>Estudo de mercado.....</b>	<b>34</b>
<b>4.3</b>	<b>Matéria-prima .....</b>	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Ensaio Físicos e Mecânicos dos Painéis.....</b>	<b>35</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise Estatística .....</b>	<b>38</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>40</b>
<b>5.1</b>	<b>Estudo de Mercado.....</b>	<b>40</b>
<b>5.2</b>	<b>Propriedades dos Painéis MDF .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Propriedades Físicas .....</b>	<b>42</b>

<b>5.2.1.1 Teor de Umidade .....</b>	<b>42</b>
<b>5.2.1.2 Densidade .....</b>	<b>43</b>
<b>5.2.1.3 Absorção de Água e Inchamento em Espessura .....</b>	<b>44</b>
<b>5.2.2 Propriedades Mecânicas .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2.2.1 Flexão Estática .....</b>	<b>48</b>
<b>5.2.2.2 Resistência a Tração Perpendicular .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2.2.3 Arrancamento de Parafuso de Superfície e Topo .....</b>	<b>51</b>
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>54</b>
<b>Referências .....</b>	<b>55</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>58</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Particularidades como beleza estética, fácil trabalhabilidade, relativo baixo custo de aquisição, baixo consumo energético para sua obtenção, dentre outras, fazem da madeira uma das matérias-primas mais utilizadas no mundo. A madeira apresenta uma ampla gama de aplicações, tais como: carvão, serrados, painéis, celulose e papel, entre outros, sendo fundamental, para seu emprego de forma adequada, estudos que assegurem seu melhor aproveitamento, com o mínimo de desperdícios.

De acordo com Eleotério (2000), a utilização de painéis a base de madeira permite manter muitas das vantagens da madeira sólida, acrescentando outras, tais como: dimensões dos painéis não estritamente relacionadas às dimensões das árvores; pode-se agregar valor a materiais de baixa aceitação como resíduos de serrarias e desbastes; possibilidade de eliminar muitos defeitos oriundos da anatomia da árvore como nós, medulas, desvios de grã, conferindo ao produto final homogeneidade muito maior que a encontrada na madeira serrada. Pode-se também, pela especificação da densidade, controlar a maioria das propriedades e acrescentando produtos específicos, aumentar a resistência dos painéis ao fogo e à biodeterioração.

Os painéis de madeira reconstituída apresentam como vantagem, o uso de elementos de pequenas dimensões, estrutura com uma maior tendência a homogeneidade e isotropia, além de constituírem uma alternativa para o adequado uso da madeira, ao passo que existe a possibilidade de se empregar em sua fabricação matérias-primas que não poderiam ser utilizadas para fins considerados mais nobres, agregando-se valor a esses materiais.

Segundo Macedo e Roque (1997), o início da produção mundial do MDF (*Medium Density Fiberboard*) na segunda metade do século XX, foi resultado de uma pesquisa que tinha como finalidade substituir a chapa de fibra dura por um produto de qualidade superior. Ao final da pesquisa o produto superou as expectativas, pois concluiu-se que o MDF poderia ser produzido com espessura

acima do que era previsto inicialmente. Esse painel, devido sua versatilidade, passou a ocupar mercados antes dominados por painéis aglomerados, compensados e madeira serrada.

Para Belini (2007) a utilização de painéis MDF embute a grande vantagem da homogeneidade nas características tecnológicas e de aparência, obtendo-se produtos de diferentes dimensões e aplicações, com possibilidade de adequações no processo de confecção visando o desempenho requerido ao seu uso final.

O MDF tem a prerrogativa de ser um dos painéis a base de madeira mais avançados tecnologicamente e possuir um parque fabril moderno no Brasil. A indústria do MDF é composta por empresas de grande porte que atuam em larga escala.

Mattos, Gonçalves e Chagas (2008) mencionam os segmentos de MDP e MDF como os que possuem um cenário positivo no mercado brasileiro de painéis de madeira reconstituída, visto que o aumento da oferta se direciona para o mercado interno, e o excedente pode ser absorvido pelo mercado externo.

A demanda fortemente crescente e a inexistência de um estudo caracterizando aspectos mercadológicos dos painéis MDF em Pelotas evidenciaram a necessidade da caracterização das empresas que revendem esses produtos, bem como da avaliação das propriedades dos painéis MDF comercializados no município de Pelotas.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos painéis MDF comercializados no município de Pelotas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Realizar um estudo de mercado caracterizando as empresas fabricantes de painéis MDF do país que possuem representatividade no comércio do município de Pelotas;
- Avaliar a qualidade dos painéis MDF comercializados na região por meio de suas propriedades físicas e mecânicas e verificar se os resultados observados atendem aos requisitos da norma americana ANSI A 208.2 (1994).

### **3 REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Painéis de Madeira**

Os painéis de madeira surgiram como consequência da busca, feita pelo homem, por novos meios de utilizar e aproveitar a madeira, explorando ao máximo o potencial desse material (TORQUATO, 2008). O surgimento dos painéis de madeira também pode ser atribuído a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça (MATTOS, GONÇALVES e CHAGAS, 2008).

Os painéis de madeira são produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005).

O principal objetivo do desenvolvimento da tecnologia para produção de painéis de fibra surgiu com a possibilidade de agregar valor às madeiras de menor qualidade e custo transformando-as em produtos nobres e valiosos. Nesse sentido criou-se uma tecnologia própria para transformação de madeiras maciças adequadas para a produção de chapas de fibra (SILVA, 2003).

Os painéis de madeira reconstituída são produtos fabricados com base no processamento da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação (MATTOS, GONÇALVES E CHAGAS, 2008). Após sua redução, os elementos de madeira, a partir de variados processos, passam por métodos de reconstituição e geram produtos com diversas finalidades de uso. A Fig. 1 apresenta os principais tipos de painéis de madeira.

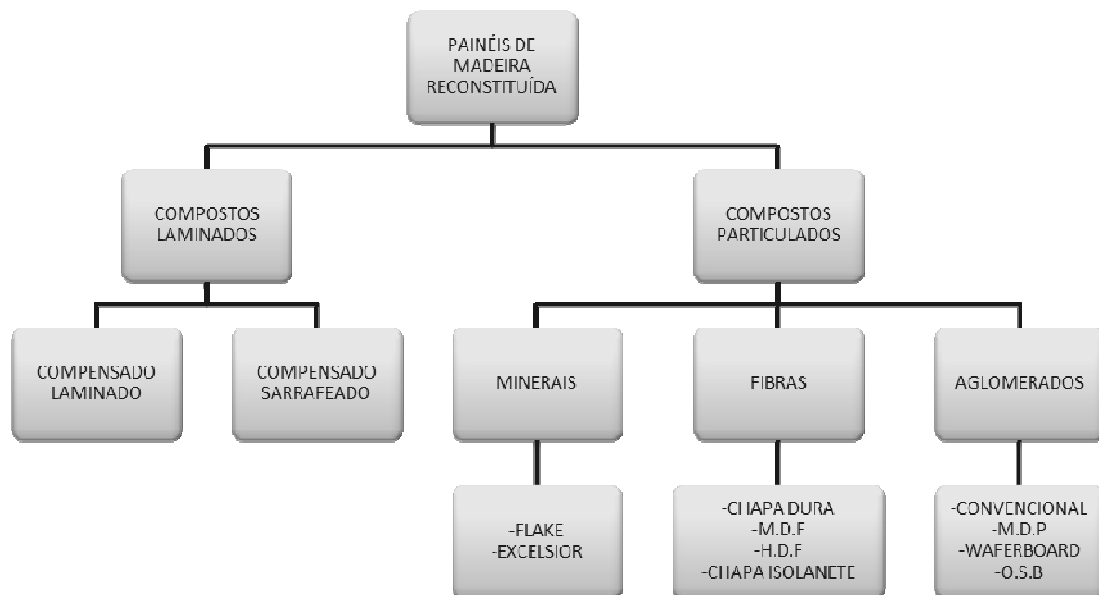


Figura 1 - Esquema simplificado de painéis de madeira reconstituída

Fonte: Adaptado de IWAKIRI, 2005.

A importância do setor de painéis de madeira reconstituída pode ser atribuída a fatores como: a necessidade do uso racional dos recursos florestais; as restrições no uso e comercialização de madeiras nativas; e o melhor aproveitamento da matéria prima madeira no processamento, fortalecendo ainda mais as indústrias de painéis reconstituídos, que utilizam exclusivamente madeiras de florestas plantadas, sendo na sua maioria dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* (SALDANHA, 2004).

Na era das florestas de curta rotação deve-se pensar em produtos reconstituídos para que a demanda por produtos de madeira seja plenamente suprida. Nesse mercado incluem-se aglomerados, OSB (*Oriented Strand Board*), chapas de fibras duras, isolantes e de média densidade, entre outros. Tais produtos formam de maneira mais intensa a ponte entre a indústria e o laboratório, já que para o melhor aproveitamento dos materiais e melhoria das propriedades dos painéis é necessário um aporte maior de pesquisa científica (MALONEY, 1993 apud RAZERA, 2006).

Tratando-se de um material de origem biológica, a madeira pode apresentar alguns defeitos inerentes à anatomia das árvores como nós, presença de medula, grã desalinhada, tensões de crescimento e dimensões dependentes da forma das árvores (ELEOTÉRIO, 2000). No entanto, muitos desses defeitos podem ser eliminados durante os processos de fabricação de painéis, sendo possível obter um produto final com dimensões relacionadas apenas ao equipamento disponível e demanda de consumo. Destes processos resultam produtos livres de defeitos isolados, com maior homogeneidade tanto dentro do painel como entre painéis, além da possibilidade de adicionar características desejáveis como resistência ao fogo e à biodeterioração, aumentando a durabilidade e a diversificação da utilização (MALONEY, 1989 apud ELEOTÉRIO, 2000).

Com os avanços tecnológicos ocorridos mundialmente nas indústrias de madeiras, existe uma variedade de painéis de madeira para os mais diversos usos e aplicações, atendendo a praticamente todo tipo de mercado (TORQUATO, 2008).

### **3.2 Painéis de Fibras de Madeira**

O principal objetivo do desenvolvimento da tecnologia para produção de painéis de fibra surgiu com a possibilidade de agregar valor às madeiras de menor qualidade e custo transformando-as em produtos nobres e valiosos. Nesse sentido criou-se uma tecnologia própria para transformação de madeiras maciças adequadas para a produção de chapas de fibra (SILVA, 2003).

Os primeiros exemplares de “chapas de fibra” foram encontrados por volta do século VI a.C, eram denominadas “chapas duras” e usadas nas paredes de pequenas habitações. Entretanto, somente na Inglaterra em 1772, foi dado o primeiro impulso para o uso na construção de chapas leves, quando se patenteou o “*papiermaché*” para aplicação em divisórias, portas, móveis e em carruagens (SILVA, 2003).

O século XIX se caracterizou pelo início da produção de chapas de fibra na Inglaterra. O processo foi desenvolvido pela empresa *Millboard Company*, que inicialmente fabricava chapas semiduras utilizando uma máquina para produção de

papelão com quatro cilindros formadores. O grande desenvolvimento da indústria de chapas de fibra se deu após a implantação dos processos *Masonite* e *Asplund*, entre 1926 e 1931 (SILVA, 2003).

O painel de fibra de madeira é um material manufaturado a partir do refinamento das fibras lignocelulósicas. A adesão primária das fibras individualizadas se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina (MALONEY, 1993 apud IWAKIRI, 2005; TORQUATO, 2008).

Os painéis de fibra de madeira se dividem de acordo com a densidade e o método de produção gerando dois tipos básicos, que são os “*prensados*” e os “*não – prensados*”, sendo cada um desses subdivididos, apresentando painéis com particularidades e aplicações diferenciadas (TORQUATO, 2008).

Os painéis de fibras de madeira estão divididos em Painel de Fibras Duras, MDF (*Medium Density Fiberboard*), HDF (*High Density Fiberboard*) e Painel Isolante. A tab. 1 apresenta esses painéis, classificados de acordo com o processo de formação e densidade.

Tabela 1 - Painéis de Fibras de Madeira

PROCESSO	PAINEL	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )
NÃO PRENSADO	Isolante Semi-Rígido	0,02 a 0,15
	Isolante Rígido	0,15 a 0,40
PRENSADO	MDF	0,50 a 0,80
	Painel de Fibras Duras	0,80 a 1,20
	HDF	1,20 a 1,45

Fonte: adaptado de IWAKIRI, 2005.

A principal matéria prima para painéis de fibras de madeira é a madeira na forma de toras com diâmetros acima de 50 milímetros e na forma de resíduos do processamento, tais como: costaneiras, pontas, aparas, rolo resto da laminação,

além de resíduos da exploração florestal. A utilização da serragem e da casca, em uma proporção de até 15%, pode ser utilizada na produção de painéis de fibras duras (IWAKIRI, 2005). A principal fonte de matéria prima destinada à produção dos painéis é obtida de reflorestamentos de pinus e eucalipto.

Materiais como resíduos agrícolas, bambu, fibras de casca de coco, folhas das cascas de palmáceas também podem ser utilizados no processo, no entanto alguns fatores como: disponibilidade, condições climáticas, estocagem, manuseio, impurezas, transporte entre outros, devem ser considerados (IWAKIRI, 2005; TORQUATO, 2008).

O desfibramento é a primeira etapa no processo de produção de painéis de fibra de madeira, sendo o termo-mecânico o mais utilizado. O desfibramento termo-mecânico consiste em tratar a madeira com calor para reduzir o consumo de energia mecânica e melhorar a qualidade das fibras e posteriormente o desfibramento ocorre em um moinho de disco. O desfibrador *Asplund* realiza o procedimento acima descrito de maneira fechada e contínua. Em seguida ocorre uma diferenciação no processo de produção dos painéis, que pode ser seco ou úmido. Os painéis isolantes são produzidos por processo úmido e sem prensagem, originando painéis sem nenhuma face lisa. Já os painéis de fibras duras podem ser produzidos tanto por processo seco, quanto pelo úmido, dando origem a painéis com as duas faces lisas e com uma face lisa, respectivamente. Os painéis MDF são produzidos pelo processo seco e apresentam as duas faces lisas (IWAKIRI, 2005).

### **3.2.1 Painel de Média Densidade - MDF (*Medium Density Fiberboard*)**

Com a idéia de se agregar valor aos produtos derivados de madeira e a necessidade de se obterem painéis que apresentassem maior estabilidade dimensional, resistência à umidade e maior resistência à ação de pregos e parafusos, foram desenvolvidas na década de 60 os painéis de fibra do tipo MDF, fabricadas pela *Miller Hofft Company*, que atualmente são consideradas o maior avanço tecnológico no setor industrial de processamentos de produtos derivados de madeira maciça (SILVA, 2003).

O MDF é definido pela Norma ABNT NBR 15316-1 (2006) como: “chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na linha de formação e densidade maior que 450 kg/m<sup>3</sup>. Essa chapa é produzida basicamente sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético”. Para fins mercadológicos, os painéis MDF podem ser classificados em:

- a) HDF (*High Density Fiberboard*): densidade  $\geq 800$  kg/m<sup>3</sup>;
- b) *Standard*: densidade  $> 650$  e  $< 800$  kg/m<sup>3</sup>;
- c) *Light*: densidade  $\leq 650$  kg/m<sup>3</sup>;
- d) *Ultra Light*: densidade  $\leq 550$  kg/m<sup>3</sup>.

Também são produzidos painéis MDF resistentes ao fogo e painéis resistentes a umidade (IWAKIRI, 2005).

Na década de 90, houve um grande crescimento na produção e no consumo de MDF em todo o mundo, com a instalação de novas unidades industriais em vários países. No Brasil, a primeira unidade industrial foi inaugurada em 1997 (IWAKIRI, 2005) e outras unidades industriais entraram em operação posteriormente. No período anterior a instalação da primeira fábrica de MDF no Brasil, o mercado interno era abastecido por importações do Chile e Argentina (ELEOTÉRIO, 2000).

O painel MDF possui consistência e algumas características mecânicas que o aproximam da madeira maciça e difere do painel de madeira aglomerada basicamente por apresentar parâmetros físicos de resistência superiores, boa estabilidade dimensional e excelente capacidade de usinagem (DALMASSO, 2010).

Algumas características favoráveis dos painéis MDF são a homogeneidade, capacidade de receber acabamentos como tintas e vernizes, trabalhabilidade e resistência ao arrancamento (ELEOTÉRIO, 2000).

Devido a sua estrutura homogênea e isotrópica, os painéis MDF apresentam vantagens significativas quanto à usinabilidade, tanto nas faces como nas bordas. Sua superfície lisa oferece melhores condições de acabamento superficial. Com

relação às propriedades de resistência, o MDF oferece maior ligação interna e resistência ao arranque de parafusos. Esses painéis são produzidos com densidade na faixa de 0,50 a 0,85 g/cm<sup>3</sup> e espessura variando entre 3 a 60 mm. Os painéis com densidade de 0,75 g/cm<sup>3</sup> e espessura de 18 mm são os mais comercializados (IWAKIRI, 2005).

Atualmente, a grande aceitação mercadológica do painel MDF deve-se, notadamente, a sua excelente trabalhabilidade especialmente nas usinagens de borda e superfícies, oriunda da sua homogeneidade e características finais, tornando-o cada vez mais demandado nas indústrias de móveis e diferenciador de qualidade (BELINI, 2007).

O avanço tecnológico no setor de silvicultura aliado à disponibilidade de áreas para o plantio de madeira e de altos custos dos transportes levou alguns países, inclusive o Brasil, a apontarem a madeira reflorestada como matéria-prima para produção de chapas MDF (SILVA, 2003).

No Brasil, a primeira linha produtiva de painéis MDF teve seu início em 1997 utilizando a madeira de espécies de *Pinus spp.* como matéria prima exclusiva até 2003. A partir desta data teve início uma linha de produção exclusiva de MDF utilizando como matéria prima a madeira de *Eucalyptus* (BELINI, 2007).

As grandes áreas reflorestadas com espécies de *Pinus* nas regiões sul e sudeste do país transformaram-se em excelentes fontes de madeira, justificando a instalação de unidades industriais produtoras de painéis MDF. A matéria prima atendia plenamente as necessidades das indústrias, resultando em chapas de coloração clara: uma exigência de mercado (BELINI, 2007).

A matéria prima para painéis de média densidade pode ser tanto de coníferas como de folhosas (TORQUATO 2008). Inicialmente utilizou-se a madeira de árvores de *Pinus spp.* como matéria prima devido a sua disponibilidade e acessibilidade às indústrias de diversos países (BELINI, 2007).

A escolha pela espécie depende do produto final e de sua aplicação. Dá-se preferência para madeiras que possuem paredes celulares finas, por facilitarem o



desfibramento, apresentando maior área de contato e contribuindo para o desenvolvimento de um número maior de ligações do tipo pontes de hidrogênio, ainda mais fortes (TORQUATO, 2008).

As coníferas são muito utilizadas, por exemplo, para produção de MDF em função de sua coloração clara, menor densidade e por possuir fibras mais longas com parede celular mais fina. Por outro lado as folhosas são mais utilizadas para a fabricação de painéis isolantes e chapas duras, pois são espécies com fibras mais curtas e de parede celular mais espessa, na maioria das vezes mais densas. Também é possível a mistura de espécies. Na Europa, por exemplo, algumas empresas misturam 80% de conífera, pinus, e 20% de folhosas como a castanheira. No Brasil as empresas estão fabricando painéis mistos onde as principais espécies são pinus e eucalipto sem diversas proporções, sendo a proporção mais utilizada a mistura de 70% de fibras de pinus com 30% de fibras de eucalipto conforme especificações de fabricantes (TORQUATO, 2008).

No entanto, houve uma redução na disponibilidade de coníferas com diâmetros adequados, dando oportunidade para a fabricação de painéis MDF fabricados com madeira de folhosas ou de sua mistura com a de coníferas (BELINI, 2007).

No período de 1997/2002 o país baseou-se exclusivamente na madeira de pinus, já no período 2003/2006 a madeira de eucalipto foi utilizada em 17% da produção, atingindo 23,1% partir de 2006, indicando uma crescente tendência da participação da madeira de *eucalipto* na produção nacional de painéis MDF (BELINI, 2007; TORQUATO 2008).

### **3.2.1.1 Processo Produtivo dos Painéis MDF**

As toras verdes de madeira são processadas na forma de cavacos que são aquecidos sob pressão de vapor de água a temperaturas que variam entre 120 e 180°C, esse procedimento amolece a camada ligante entre as fibras e facilita o desfibramento dos cavacos. As fibras individualizadas resultantes desse processo apresentam alto teor de umidade devendo atingir um teor de umidade próximo a 3%

para possibilitar a adição de resina (ASPLUND, 1973 apud SILVA, 2003). A Fig. 2 apresenta um fluxograma ilustrativo do processo de produção do MDF.

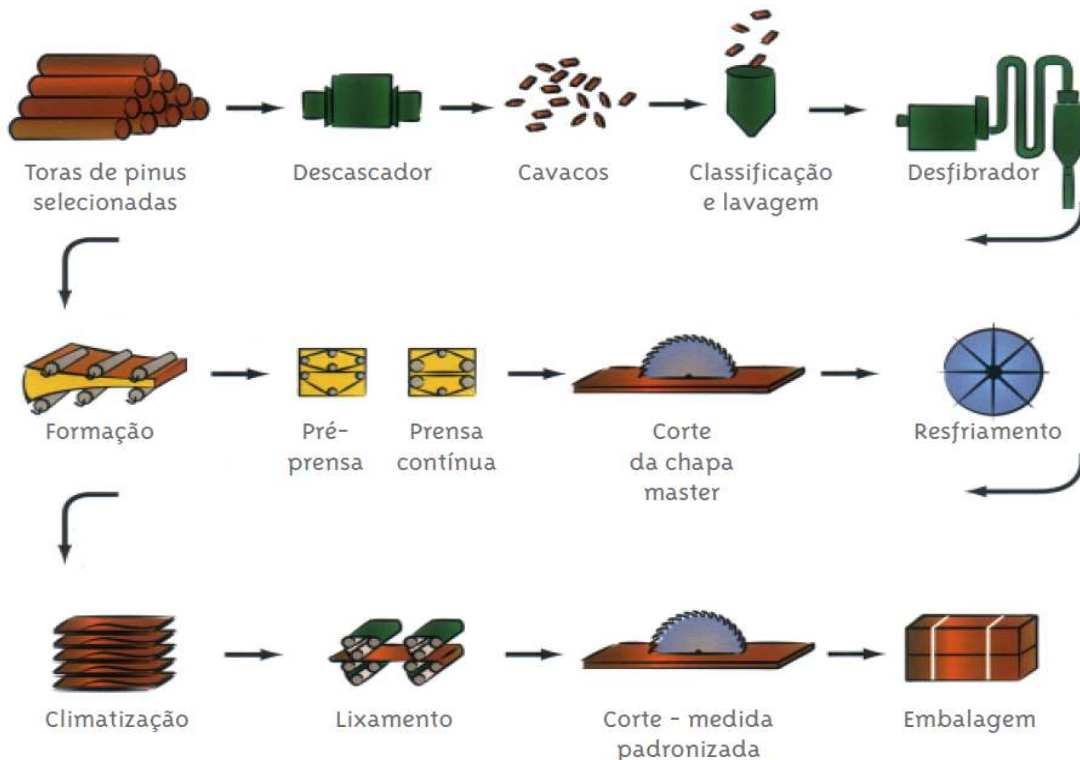


Figura 2 - Esquema Ilustrativo do Processo Produtivo de Painéis MDF

Fonte: DURATEX, 2010.

Cerca de 90 % das indústrias no mundo utilizam resinas uréia-formaldeído, principalmente porque estas resinas possuem menores custos, reagem rapidamente durante a prensagem à quente e são brancas ou incolores, entretanto, não são adequadas para usos exteriores, pois não são resistentes a umidades elevadas (ELEOTÉRIO, 2000).

A resina uréia-formaldeído é utilizada na proporção de 8 a 10% de sólido resinoso, base peso seco das fibras. Cerca de 5 a 10% de resina melamina-formaldeído, em relação ao peso da uréia-formaldeído, pode ser adicionada com o objetivo de aumentar a resistência à umidade (IWAKIRI, 2005).

A aplicação de resinas em MDF é considerada um dos pontos mais críticos na fabricação desses painéis. A adição pode ser feita pulverizando-se as fibras secas e nesse caso, o processo deve garantir uma distribuição homogênea para propiciar

maior área de contato entre resina e fibra (BÜCKING, 1982 apud SILVA, 2003). Após a aplicação da resina faz-se a secagem das fibras que em seguida são encaminhadas para máquina formadora do colchão.

O colchão de fibras já encolado e na gramatura adequada é introduzido na prensa. A prensagem dos painéis pode ser realizada em prensa estática de múltiplos pratos ou em prensa contínua plana (IWAKIRI, 2005). Durante a prensagem dos painéis, sob condições de temperatura e pressão, a resina que envolve as fibras sofre o processo de polimerização, consolidando os painéis MDF (BELINI, 2007).

Por fim é realizada uma etapa de acabamento em que os painéis são seccionados, resfriados, empilhados para estabilização da temperatura e umidade, lixados nas duas faces e esquadrejados em comprimentos comerciais. Para fins de armazenagem os painéis são classificados, empilhados com placas de proteção superior e inferior (IWAKIRI, 2005).

Os painéis MDF podem ser comercializados em três opções de acabamento: In Natura, Pintado e Revestido com Laminado Baixa Pressão ou *Finish Foil*. Os painéis crus podem receber acabamentos posteriores com tintas, vernizes, laminado de alta pressão ou lâminas de madeira (IWAKIRI, 2005; ABIPA, 2010).

### **3.3 Mercado de Painéis de Madeira no Brasil**

O segmento de painéis reconstituídos no Brasil é composto por um reduzido número de indústrias, com a característica de atuarem em grande escala (ITEPA, 2006). Porém, os painéis de madeira estão consolidando posições de destaque tanto no setor florestal, quanto na economia do Brasil, em decorrência do grande crescimento da produção na década de 1990 (TUOTO e MIYAKE, 2001).

No final dos anos 90, os painéis reconstituídos, principalmente os particulados, assumiram um papel de destaque no mercado nacional, pois foram eles que apresentaram a maior evolução, tanto em termos de volume de produção como de inovações tecnológicas, disponibilizando ao mercado novos produtos como: “MDF” (*Medium Density Fiberboard* - painel de fibras de média densidade) e o “OSB” (*Oriented Strandboard* - painel de partículas orientadas), matéria-prima

alternativa para os setores moveleiro e de construção-civil, respectivamente (SALDANHA, 2004).

No Brasil, os painéis MDF começaram a ser produzidos em 1997 com o início das atividades de uma fábrica localizada em São Paulo (DURATEX, 2010). Segundo dados da ABIPA (2010), atualmente, além do estado de São Paulo, existem fábricas nos estados de Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. As empresas produtoras de MDF são: Arauco, Berneck, Duratex, Eucatex, Fibraplac, Guararapes, Masisa e Sudati. Na Fig. 3 apresenta-se a localização dessas indústrias no Brasil.

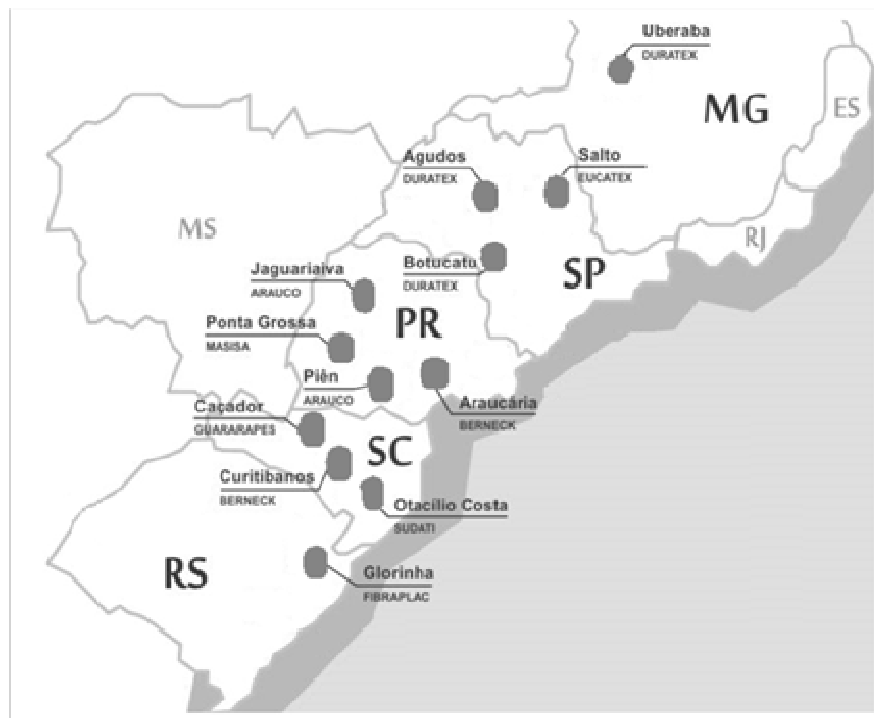


Figura 3 - Localização das unidades industriais de MDF no Brasil

Fonte: Adaptado de ABIPA, 2010.

Diversos fatores determinam a importância do setor de painéis de madeira para o Brasil e explicam o interesse de instituições privadas e públicas em investir nele. A produção de painéis de madeira tornou-se indicador de crescimento do País e aumentou a geração de divisas e de empregos, especialmente nos setores industrial, moveleiro, de embalagens e de construção civil. Além disso, os painéis de madeira vêm substituindo diversos produtos tradicionalmente usados no setor

mobiliário e de construção civil em virtude da relação custo/benefício e do seu apelo ecológico (BRASIL, 2002).

Todavia, o Brasil apresenta grande potencial, ainda a se consolidar, no mercado de painéis de madeira reconstituída, visto que o país possui uma das maiores áreas de florestas plantadas no mundo, sobretudo, as de eucalipto (CARVALHO et al. , 2005).

O setor de painéis de madeira tem apresentado forte dinamismo, no mundo e, em especial, no Brasil. O mercado vem sofrendo mudanças, em função de fatores como a busca de alternativas à madeira maciça, a modernização tecnológica do parque fabril, que proporcionou a oferta de novos produtos e a melhoria da qualidade, a redução dos juros e melhoria da renda, que deram forte impulso à construção civil e ao setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira (MATTOS, GONÇALVES E CHAGAS, 2008).

Em 2009, os painéis reconstituídos mantiveram os níveis de produção de 2008, estimado em 5,3 milhões de m<sup>3</sup>. Da mesma forma, o consumo doméstico seguiu o nível de 2008, totalizando 5,3 milhões de m<sup>3</sup> em 2009. A estabilidade da produção e do consumo do produto é alentadora, tendo em vista as dificuldades enfrentadas pelo setor moveleiro, um dos principais consumidores do produto, com a crise econômica. Os investimentos anunciados e em andamento antes do período crítico da crise foram mantidos. O mercado dos painéis de madeira reconstituída é voltado ao consumo doméstico, suprindo as demandas de setores específicos (ABRAF, 2010). A Fig. 4 apresenta a evolução do consumo nacional de painéis reconstituídos no período de 2000 a 2009.

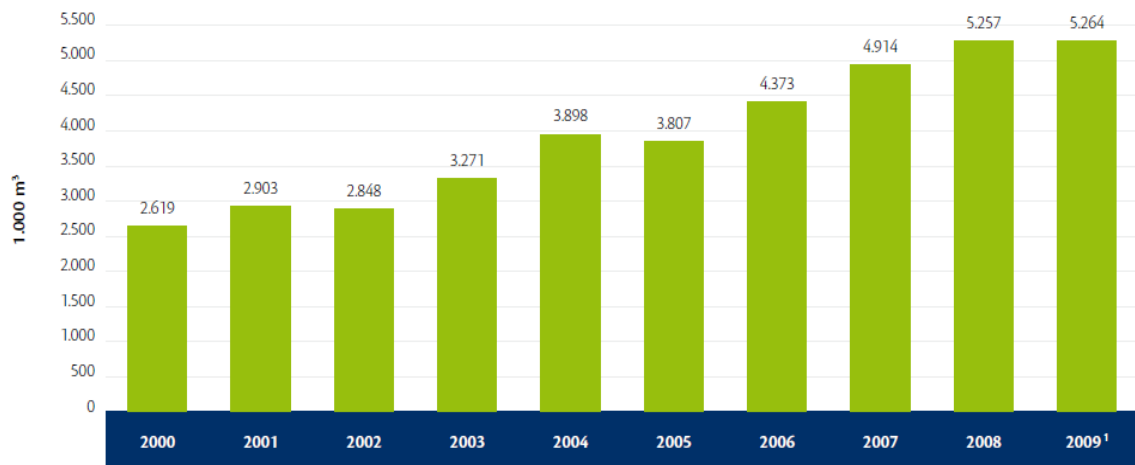


Figura 4 - Evolução do consumo nacional de painéis reconstituídos<sup>2</sup> de 2000 a 2009

Nota: <sup>1</sup>Dados estimados; <sup>2</sup> Painéis Reconstituídos incluem: MDP, MDF e Chapa Dura.

Fonte: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF, 2010.

Em 1997 a produção de painéis MDF foi de 30 mil m<sup>3</sup>, passando para 1,87 milhões m<sup>3</sup> em 2007, apresentando uma incrível taxa crescimento médio anual de 45,7% ao ano. Essa taxa de crescimento é a maior dentre os painéis fabricados no Brasil (DALMASSO, 2010). A Fig. 5 mostra a produção, importação e exportação de MDF no período entre 1995 e 2007.

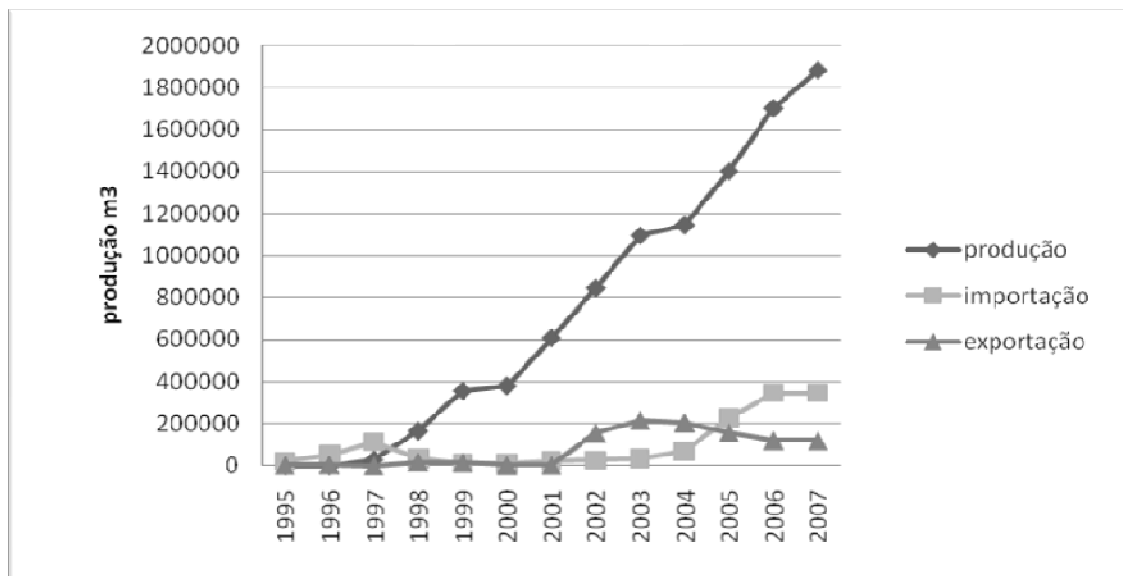


Figura 5 - Evolução da produção, importação e exportação nacional de MDF

Fonte: FAO, 2007 apud DALMASSO, 2010.

O consumo per capita de MDF no Brasil, em metros cúbicos por habitante, cresceu de 6% no ano de 2006 para 10% no ano de 2009, evidenciando o crescente uso desse material. As empresas fabricantes de MDF apresentaram a capacidade nominal instalada de 3,86 milhões de metros cúbicos ao ano em 2009 (ABIPA, 2009). Na tab. 2 observam-se as taxas de produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal instalada no Brasil entre os anos de 2005 e 2009.

Tabela 2 – Produção, importação, exportação, consumo interno e capacidade nominal instalada no Brasil para painéis MDF

Ano	Produção (m <sup>3</sup> )	Importação (m <sup>3</sup> )	Exportação (m <sup>3</sup> )	Consumo Interno (m <sup>3</sup> )	Capacidade Nominal Instalada (m <sup>3</sup> )
2005	1.407.730	165.600	159.810	1.413.520	1.700.000
2006	1.695.360	238.800	73.300	1.860.860	1.800.000
2007	1.879.070	200.300	42.190	2.037.180	2.350.000
2008	2.073.800	215.900	26.800	2.262.900	2.550.000
2009	2.394.677	121.542	32.838	2.483.381	3.860.000

Fonte: ABIPA, 2009.

Até o ano de 2010 estima-se que a capacidade nominal produtiva brasileira de painéis MDF estará entre 2,7 a 3,5 milhões de m<sup>3</sup>/ano, podendo superar a capacidade nominal de produção do painel MDP/aglomerado estimada em 3,2 milhões de m<sup>3</sup>/ano (ABIPA, 2006 apud Belini, 2007).

As previsões para o setor são que a produção de MDF crescerá a taxa de 5% ao ano até 2010. Até 2020 a taxa será um pouco menor: 4% ao ano. A utilização de madeira de eucalipto e de resíduos de madeira nos processos de produção aumentará sua participação, principalmente nos painéis de menor espessura (MAPA, 2007).

A alta competitividade da indústria de MDF, OSB e painéis aglomerados, principalmente no Brasil e no Chile, devido ao baixo custo de produção e de matéria prima de florestas plantadas, devem influenciar no incremento da produção regional destes produtos a médio e longo prazo. O crescimento da indústria de móveis para atender o mercado interno como o internacional será determinante para o crescimento da demanda de painéis de madeira na América Latina e no Caribe (FAO, 2006; TORQUATO, 2008).

Para os próximos anos, estão previstos novos investimentos no setor de painéis MDF que irão proporcionar um aumento da capacidade instalada para aproximadamente 4,8 milhões de metros cúbicos anuais em 2012 (ABIPA, 2009).

O MDF, que apresenta um parque fabril bastante moderno no Brasil, por ter sido instalado recentemente, vem conquistando mercado pela sua utilização cada vez mais crescente pela indústria moveleira e de construção civil e ocupando um espaço até então reservado à madeira maciça e a outros painéis reconstituídos. Até 1997, todo o material de MDF era importado pelas empresas brasileiras (ITEPA, 2006).

No Brasil, o principal demandante do painel MDF é a indústria moveleira, constituindo-se a construção civil um mercado potencial, porém ainda pouco explorado, principalmente em itens como pisos, rodapés, divisórias, batentes e peças torneadas, entre outros (DALMASSO, 2010).

As principais aplicações dos painéis MDF no mercado interno são a indústria de móveis, construção civil, flooring e revenda (ABIPA, 2006). A Fig. 6 apresenta as aplicações do MDF no mercado doméstico.



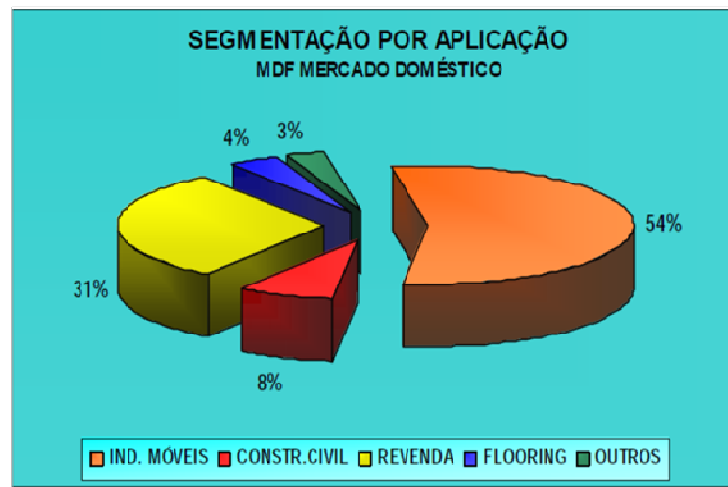


Figura 6 - Aplicação doméstica dos painéis MDF

Fonte: ABIPA, 2006.

## **4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Caracterização da área de estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Pelotas, localizado no sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. Pelotas é uma cidade referência, pois se caracteriza como um grande centro comercial que atrai moradores de toda região, caracterizando-se como uma referência comercial no sul do Brasil.

A Região Sul do Rio Grande do Sul não possui indústrias de painéis de madeira reconstituída. Sendo o mercado abastecido por indústrias de outras regiões.

### **4.2 Estudo de mercado**

Foram realizadas entrevistas por telefone, perguntando se a madeireira revendia painéis de madeira e quais eram esses painéis. Dessa forma determinaram-se quais madeireiras comercializavam painéis MDF no município de Pelotas.

Posteriormente, com a determinação das madeireiras que revendem painéis MDF, aplicou-se um questionário (APÊNDICE A) nessas madeireiras.

No questionário constavam perguntas para caracterização dos painéis, bem como das espessuras e revestimentos comercializados pelas madeireiras. O questionário também abordou perguntas sobre os fornecedores e consumidores. Além disso, foram realizadas perguntas abordando aspectos comerciais.

### **4.3 Matéria-prima**

Para determinação das propriedades físico-mecânicas dos painéis foi selecionada uma espessura comum a todas as empresas fabricantes que estivesse entre as mais comercializadas no município. De acordo com esta característica foram selecionados painéis MDF cru (sem revestimento), com densidade na faixa de

650 kg/m<sup>3</sup> a 800 kg/m<sup>3</sup> empregado em ambiente interno (condição seca), com a espessura nominal de 18 milímetros.

Foram selecionados, de forma aleatória, quatro painéis MDF em madeiras, representando a totalidade das empresas fabricantes que possuem este produto disponível no comércio da região. Os painéis das empresas fabricantes selecionadas foram identificados pelas letras A, B, C e D.

Os painéis MDF das empresas fabricantes A, C e D possuíam as seguintes dimensões: 2,75m de comprimento por 1,85m de largura, enquanto as medidas do painel da empresa B foram: 2,44m de comprimento por 1,85m de largura. Todos os painéis possuíam 18mm de espessura.

Inicialmente os painéis foram seccionados ao meio para facilitar seu manuseio e transporte, sendo em seguida acondicionados por 20 dias em câmara climatizada a temperatura de  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$ , no Laboratório de Propriedades da Madeira do curso de Engenharia Industrial Madeireira – UFPel, para posterior confecção dos corpos de prova,.

Dentre os painéis MDF amostrados, existiam painéis produzidos com 100% de fibras de pinus e outros com mistura de fibras de pinus e eucalipto. Os painéis das empresas A e B possuíam apenas fibras de pinus enquanto nos painéis C e D havia a mistura de fibras de pinus e eucalipto.

Os painéis MDF avaliados foram produzidos industrialmente em condições semelhantes de fabricação, utilizando no processo produtivo, 100% de fibras de madeira, 8% de resina uréia-formaldeído e 1% de emulsão de parafina.

#### **4.4 Ensaios Físicos e Mecânicos dos Painéis**

Após o acondicionamento dos painéis, a aproximadamente 12% de umidade de equilíbrio, foram efetuados os cortes para retirada dos corpos-de-prova de acordo com as normas ASTM D 1037 (1999) e ABNT NBR 15316 (2006).

Os corpos-de-prova foram produzidos na marcenaria da prefeitura da UFPel, obedecendo ao layout de corte esquematizado na Fig.7. Após o corte, as amostras

foram devidamente identificadas com lápis-cópia e novamente acondicionadas na câmara climatizada a uma temperatura de  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$ .

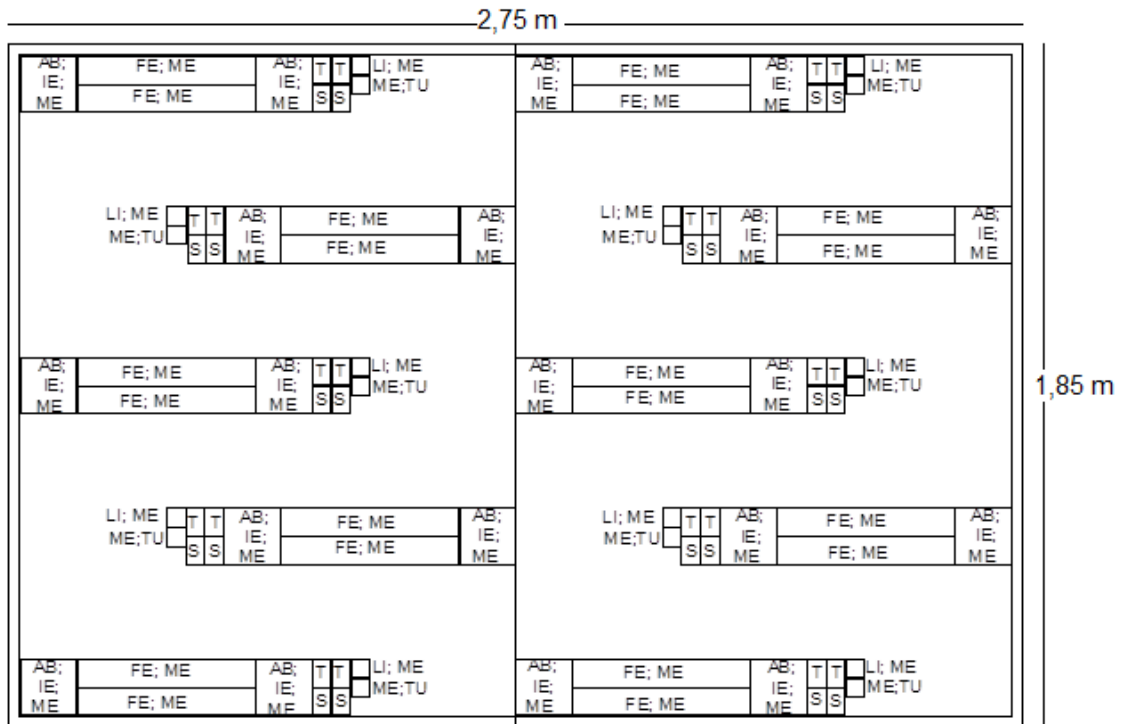


Figura 7 - Layout de corte para confecção dos corpos de prova

Nota: \* Ensaios: AB= absorção de água; IE= inchamento em espessura; ME= densidade; FE= flexão estática; T= arrancamento de parafuso de topo; S= arrancamento de parafuso de superfície; LI= resistência a tração perpendicular; TU= teor de umidade.

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da Universidade Federal de Santa Maria, no município de Santa Maria – RS, onde os corpos-de-prova foram novamente acondicionados em câmara climatizada para posterior realização dos ensaios físico-mecânicos.

Para avaliação da qualidade dos painéis, foram realizados ensaios físicos (teor de umidade, densidade, absorção de água e inchamento em espessura) e mecânicos (flexão estática, resistência a tração perpendicular e arrancamento de parafuso topo e superfície).

Para os ensaios de determinação da densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24h de imersão em água, resistência a tração perpendicular, flexão estática (módulo de elasticidade e módulo de ruptura)

foi utilizada a norma ASTM D 1037 (1999) e para determinação da resistência ao arrancamento de parafuso de superfície e topo foi empregada a norma da ABNT NBR 15316 (2006). Na tab. 3 pode-se observar a quantidade e as dimensões dos corpos de prova para cada ensaio.

Tabela 3- Número e dimensões dos corpos de prova utilizados para os ensaios físico-mecânicos dos painéis MDF

ENSAIO	C.P*. por Painel	DIMENSÕES (cm)
Absorção de Água e Inchamento em Espessura	20	15,2 x 15,2
Teor de Umidade	10	5 x 5
Arrancamento de Parafuso de Topo	20	7,5 x 5
Arrancamento de Parafuso de Superfície	20	7,5 x 5
Resistência a Tração Perpendicular	10	5 x 5
Flexão Estática	20	48,2 x 7,6

Nota: a densidade foi determinada para totalidade dos corpos de prova.

\*C.P. = Corpos-de-prova.

Os ensaios mecânicos (Fig. 8) foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaio, marca Amsler, com capacidade para 20 toneladas, com funcionamento é hidráulico.

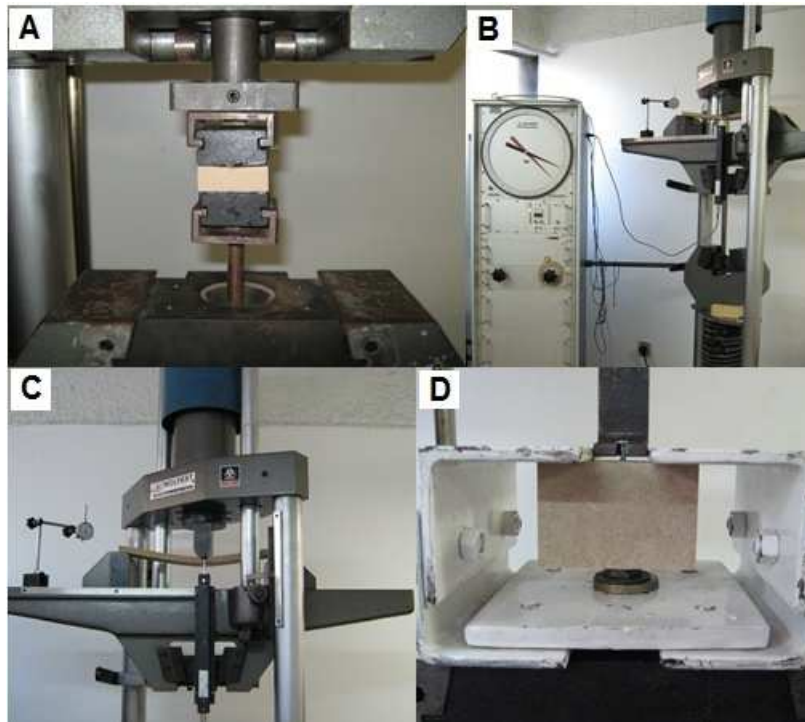


Figura 8 - Ensaio para avaliação das propriedades mecânicas dos painéis MDF: resistência a tração perpendicular (A); flexão estática (B) e (C); arrancamento de parafuso de topo (D)

A norma ANSI A 208.2 (1994) foi utilizada para analisar os requisitos mínimos das propriedades de flexão estática e resistência a tração perpendicular.

#### 4.5 Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com um painel por empresa fabricante que possuía painéis MDF disponível nas madeireiras do município de Pelotas, sendo avaliado um total de quatro painéis MDF.

A distribuição normal dos dados foi avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias foi verificada pelo teste de Hartley. A variável resposta absorção de água em 24 horas não apresentou distribuição normal dos dados sendo necessário efetuar uma transformação matemática. A função matemática utilizada foi o logaritmo do conjunto de dados originais.

O conjunto de dados referentes a cada variável resposta foi submetido à análise de variância para os valores referentes à densidade e análise de covariância para as demais propriedades. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste

F, foi utilizado o teste Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias.

Para o processamento dos dados foi utilizado o *software Statgraphics* versão Plus 4.1.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Estudo de Mercado

As entrevistas realizadas determinaram que cinco madeireiras que comercializam painéis MDF no município de Pelotas. A tab. 4 apresenta os resultados do estudo de mercado.

Tabela 4 - Estudo de Mercado

MADEIREIRA	ESPESSURAS (mm)						REVESTIMENTO		ORIGEM		PAINÉIS VENDIDOS POR MÊS (Unidades)
	3	6	9	12	15	18	COM	SEM	FÁBRICA	DISTRIBUIDOR	
ALEIXO MADEIRA	x	x	x	x	x	x		x		x	20
MADEIRÃO	x	x	x	x	x	x		x		x	20
MADEIREIRA F. OSÓRIO	x	x	x	x	x	x	x	x	x		300
MENEGOTTO	x	x	x	x	x	x		x		x	10
ZIBETI	x	x	x	x	x	x	x	x	x		160

A pesquisa nas cinco madeireiras revelou que são comercializados em Pelotas tanto painéis MDF sem revestimento, como os com revestimento, contudo o sem revestimento é o mais solicitado. Os painéis são encontrados nas espessuras de 3, 6, 9, 12, 15 e 18 mm, sendo as duas últimas as mais comercializadas.



Foi constatado que quatro empresas fabricantes de painéis MDF estão presentes no comércio da cidade de Pelotas. As madeireiras adquirem os painéis diretamente das fábricas ou por intermédio de empresas distribuidoras.

Além disso, a pesquisa mostrou que as marcenarias são os principais mercados consumidores dos painéis MDF, com a finalidade de produzir móveis planejados sob medida.

As perguntas referentes aos aspectos comerciais, revelaram que a Madeireira Fernando Osório é a que comercializa painéis MDF a mais tempo no município de Pelotas, seis anos e também que os outros painéis disponíveis nas cinco madeireiras estudadas são o compensado e o aglomerado, sendo o último encontrado apenas na Madeireira Fernando Osório.

A tab. 5 apresenta o preço dos painéis MDF nas espessuras de 3, 6, 9, 12, 15 e 18 milímetros de espessura nas cinco madeireiras que comercializam esses painéis no município de Pelotas.

Tabela 5 - Preço dos painéis MDF no município de Pelotas

MADEIREIRA	PREÇO (R\$)					
	ESPESSURA (mm)					
	3	6	9	12	15	18
ALEIXO MADEIRA	30,00	55,00	68,00	85,00	100,00	130,00
MADEIRÃO	34,50	74,75	80,50	89,70	98,90	132,25
MADEIREIRA F. OSÓRIO*	30,00	46,00	57,00	72,00	89,00	102,00
MENEGOTTO	33,00	60,00	69,50	96,50	115,00	137,50
ZIBETI*	28,00	49,00	58,00	72,00	90,00	108,00

Nota: \* madeireiras que realizam compras direto da fábrica.

Em relação aos preços, os painéis MDF, sem revestimento, de 3 milímetros de espessura possuem preços similares nas cinco madeireiras. Enquanto os painéis de 6, 9, 12, 15 e 18 milímetros de espessura apresentaram nas madeireiras que

realizam compras diretas das empresas fabricantes o menor preço, enquanto as madeireiras que efetuam compras por intermediação de empresas distribuidoras, apresentaram preços superiores.

## 5.2 Propriedades dos Painéis MDF

Os resultados observados para a avaliação das propriedades dos painéis MDF de 18 mm de espessura e sem revestimentos foram confrontados com estudos que avaliaram as propriedades de painéis MDF de diferentes espessuras, produzidos em laboratório e/ou escala industrial e utilizando diferentes normas, devido à falta de trabalhos que avaliassem painéis MDF da mesma forma que o presente estudo, ou seja, painéis MDF comerciais, de 18 mm de espessura e utilizando a norma ANSI A 208. 2 (1994).

### 5.2.1 Propriedades Físicas

#### 5.2.1.1 Teor de Umidade

Todas as propriedades mecânicas variam significativamente com a variação do teor de umidade em painéis (TORQUATO, 2008). Os valores médios para teor de umidade dos painéis estão apresentados na tab. 6.

Tabela 6 - Valores Médios para o Teor de Umidade dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	TEOR DE UMIDADE (%)	CV (%)
A	P	8,13 <sup>a</sup>	3,53
B	P	8,12 <sup>a</sup>	6,82
C	P/E	8,82 <sup>b</sup>	5,27
D	P/E	9,08 <sup>b</sup>	3,33

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

O teor de umidade das amostras variou entre 8,13% e 9,08%. Os valores médios observados para o teor de umidade dos painéis dos diferentes fabricantes avaliados diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância (ANOVA - Apêndice B - tab. 15 e tab. 16 ). A análise estatística revelou que os painéis A e B são iguais, assim como os painéis C e D.

Os painéis C e D, constituídos pela mistura de fibras - pinus e eucalipto apresentaram resultados superiores para a variável teor de umidade. No entanto, todos os resultados observados para o teor de umidade atendem ao esperado para painéis MDF de uso interno, ou seja, estão dentro da faixa de 7% a 11%.

Torquato (2008) encontrou valores entre 8,98% e 10,21% para teor de umidade de painéis MDF comerciais, de 15 mm de espessura e com densidade entre 0,69 e 0,76g/cm<sup>3</sup>, utilizando a norma EN 322 (2006).

### 5.2.1.2 Densidade

Eleotério (2000) e Torquato (2008) ressaltam a importância da densidade dos painéis devido a grande influência que ela apresenta nas propriedades físico-mecânicas. Os valores médios para densidade dos painéis MDF são apresentados na tab. 7.

Tabela 7 - Valores Médios para Densidade dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)
A	P	0,69 <sup>b</sup>	1,42
B	P	0,72 <sup>c</sup>	1,42
C	P/E	0,69 <sup>b</sup>	1,20
D	P/E	0,67 <sup>a</sup>	1,46

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os valores médios observados para densidade aparente dos painéis avaliados variaram de 0,67 g/cm<sup>3</sup> a 0,72 g/cm<sup>3</sup>. O painel D apresentou a menor densidade e painel B é de maior densidade. Estatisticamente, os valores para densidade são iguais para painéis A e C e diferem entre os demais painéis.

Notou-se que as diferentes matérias primas, pinus ou a mistura das espécies pinus e eucalipto, não interferiram nos resultados observados para densidade, visto que os painéis A e C apresentaram como resultado o mesmo valor médio, 0,69 g/cm<sup>3</sup>.

Todos os painéis apresentaram resultados dentro da faixa de densidade que caracteriza os painéis MDF que varia de 0,50 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, satisfazendo então as especificações para painéis MDF.

Houve necessidade de se realizar uma análise de covariância para avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis MDF, pois os valores médios observados para densidade aparente dos painéis nos diferentes tratamentos se diferem estatisticamente ao nível de 5% de significância (ANOVA - Apêndice B - tab. 17 e tab. 18).

### **5.2.1.3 Absorção de Água e Inchamento em Espessura**

A tab.8 apresenta os valores médios das propriedades de absorção de água após 2 horas e 24 horas de imersão em água.

Tabela 8 - Valores Médios para Absorção de Água após 2horas e 24horasdos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	ABSORÇÃO DE ÁGUA		ABSORÇÃO DE ÁGUA	
		2h (%)	CV (%)	24h (%)	CV (%)
A	P	2,41 <sup>b</sup>	8,23	14,67 <sup>a</sup>	7,52
B	P	2,36 <sup>b</sup>	10,89	12,32 <sup>b</sup>	3,03
C	P/E	1,92 <sup>a</sup>	19,24	12,78 <sup>b</sup>	3,24
D	P/E	3,36 <sup>c</sup>	5,83	15,60 <sup>a</sup>	6,92

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os valores médios encontrados para a variável absorção de água variaram entre 1,92% a 3,36% para 2 horas e 12,32% a 15,60% para 24 horas. A análise estatística revelou diferenças significativas entre os painéis para a absorção de água em 2 horas e em 24. Os resultados para absorção de água demonstraram comportamentos distintos para os painéis após 2 horas e 24 horas de imersão, visto que o painel que menos absorveu água em 2 horas não foi o mesmo para 24 horas. (ANOVA - Apêndice B - tab. 19, tab. 20, tab. 21 e tab. 22).

Após 2 horas os painéis constituídos somente pelas espécies de pinus, A e B, apresentaram igualdade estatística e os painéis constituídos pela mistura das espécies de pinus e eucalipto, C e D, diferiram estatisticamente. O painel C apresentou o menor valor médio observado para absorção de água após 2 horas, portanto o resultado mais satisfatório e o painel D apresentou o maior valor médio para absorção de água após 2 horas, o menos satisfatório.

Na absorção de água após 24 horas foi possível observar que o uso da mistura das espécies pinus e eucalipto, ou o uso apenas da espécie pinus não interferiu nos valores médios observados, pois os painéis A e D foram estatisticamente iguais, assim como os painéis B e C, ambos de pinus e pinus e eucalipto respectivamente. Os painéis B e C apresentaram os menores valores

médios para absorção de água após 24 horas, ou seja, os mais satisfatórios. Enquanto os valores menos satisfatórios foram os dos painéis A e D.

Avaliando painéis MDF comerciais de 15 mm de espessura e densidade entre 0,69 e 0,76g/cm<sup>3</sup>, de acordo com a norma EN 317 (1993), Torquato (2008) encontrou comportamentos semelhantes para absorção de água em 2 horas e 24 horas. Os resultados médios observados para 2 horas variaram de 2,06% a 4,33% e 8,54% a 16,38 para 24 horas.

Os valores médios para inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água estão apresentados na tab. 9.

Tabela 9 - Valores Médios para Inchamento em Espessura após 2 horas e 24 horas dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	INCHAMENTO EM ESPESSURA		INCHAMENTO EM ESPESSURA	
		2h (%)	CV (%)	24h(%)	CV (%)
A	P	2,27 <sup>b</sup>	10,54	12,80 <sup>c</sup>	7,01
B	P	1,48 <sup>a</sup>	18,04	9,06 <sup>a</sup>	8,97
C	P/E	1,53 <sup>a</sup>	14,68	9,67 <sup>a</sup>	3,60
D	P/E	2,44 <sup>b</sup>	8,71	11,34 <sup>b</sup>	7,08

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Para inchamento em espessura após 2 horas, os valores médios encontrados variaram entre 1,53% e 2,44% e após 24 horas entre 9,06% e 12,80%.

Observa-se a existência de diferença estatisticamente significativa entre os painéis avaliados tanto para inchamento em espessura após 2 horas como para inchamento em espessura após 24 horas (ANOVA - Apêndice B - tab. 23, tab. 24, tab. 25 e tab. 26).

Para inchamento em espessura após 2 horas os painéis A e D foram iguais, assim como os painéis B e C. Os resultados mais satisfatórios foram observados para os painéis B e C, constituídos por pinus e pela mistura pinus e eucalipto, respectivamente.

A análise estatística para inchamento em espessura após 24 horas demonstrou igualdade para os painéis B e C e comportamentos distintos para os painéis A e D. Assim como para inchamento em espessura após 2 horas, os menores valores encontrados e por consequência os mais satisfatórios foram das empresas B e C, demonstrando que o uso da mistura de fibras de pinus e eucalipto ou o uso somente de fibras de pinus não interfere na propriedade de inchamento em espessura.

Torquato (2008) avaliando painéis MDF produzidos em linha de produção, com 15 mm de espessura e com densidade entre 0,69 e 0,76g/cm<sup>3</sup>, segundo a norma EN 317 (1993), observou valores médios entre 0,84% e 2,41% para inchamento em espessura após 2 horas e 4,01% e 7,79% em 24 horas.

De acordo com Eleotério (2000) absorção de água determina o inchamento, explicando uma correlação entre as duas variáveis. A densidade também influenciaria no inchamento em espessura, pois um aumento de massa originaria uma maior pressão para o inchamento quando em contato com água. Contudo a empresa B apresentou a maior densidade, 0,72 g/cm<sup>3</sup>, e não apresentou elevados resultados para inchamento em espessura e absorção de água, figurando entre as empresas com os resultados mais satisfatórios para inchamento em espessura.

### **5.2.2 Propriedades Mecânicas**

Na tab. 10 estão apresentados os requisitos normativos para módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e resistência a tração perpendicular.

Tabela 10 - Requisitos de Propriedades Mecânicas para painéis MDF

MDF	ESPESSURA (mm)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	LI (MPa)
0,64 a 0,80 (g/cm <sup>3</sup> )	≤21	24	2400	0,60

Nota: MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; LI = resistência a tração perpendicular.

Fonte: adaptado de WOOD HANDBOOK - WOOD AS AN ENGINEERING MATERIAL - FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999.

### 5.2.2.1 Flexão Estática

Os valores médios referentes ao módulo de ruptura são apresentados na tab.11.

Tabela 11 - Valores Médios para Módulo de Ruptura (MOR) dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	MOR (MPa)	CV (%)
A	P	37,88 <sup>b</sup>	8,13
B	P	44,04 <sup>d</sup>	5,45
C	P/E	40,54 <sup>c</sup>	5,80
D	P/E	32,41 <sup>a</sup>	5,89

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os valores observados para módulo de ruptura variaram entre 32,41 MPa e 44,04 MPa. De acordo com os resultados observados, verifica-se a existência de diferença estatisticamente significativa entre os painéis avaliados (ANOVA - Apêndice B - tab. 27 e tab. 28).

Em painéis MDF com densidade entre 0,64 g/cm<sup>3</sup> e 0,80 g/cm<sup>3</sup> e com espessura inferior a 21 mm a norma ANSI A 208.2 (1994) determina como requisito mínimo o módulo de ruptura de 24 MPa, deste modo todos os resultados observados para módulo de ruptura satisfazem a exigência normativa.



A tab.12 apresenta os valores médios para módulo de elasticidade.

Tabela 12 - Valores Médios para Módulo de Elasticidade (MOE) dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	MOE (Mpa)	CV (%)
A	P	3621,65 <sup>a</sup>	9,24
B	P	4094,40 <sup>b</sup>	4,96
C	P/E	3524,24 <sup>a</sup>	4,80
D	P/E	3519,58 <sup>a</sup>	3,86

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os valores para módulo de elasticidade variaram entre 4094,40 MPa e 3519,58 MPa. De acordo com os resultados observados, verifica-se a existência de diferença estatisticamente significativa entre os painéis avaliados (ANOVA - Apêndice B - tab. 29 e tab. 30).

Estatisticamente, os painéis A, C e D comportaram-se da mesma forma, enquanto o painel B diferiu dos demais painéis na análise da variável módulo de elasticidade.

A norma ANSI A 208.2 (1994) determina como requisito mínimo o valor de 2400 MPa para o módulo de elasticidade em painéis MDF com densidade entre 0,64 g/cm<sup>3</sup> e 0,80 g/cm<sup>3</sup> e com espessura inferior a 21 mm. Portanto todos os valores médios observados estão de acordo com a exigência da norma.

Em relação às fibras utilizadas como matéria prima dos painéis, observou-se que para módulo de ruptura e módulo de elasticidade o uso de fibras de pinus ou a sua mistura com fibras de eucalipto determina a variação nos valores pois painéis MDF constituídos apenas por fibras de pinus apresentaram os maiores valores.

Torquato (2008) para painéis MDF industriais com espessura de 15 mm e com densidade entre 0,69 e 0,76g/cm<sup>3</sup>, utilizando a norma EN 310 (1993), encontrou para módulo de ruptura valores médios entre 33,32 MPa e 42,46 MPa, já os valores

médios para módulo de elasticidade encontrados ficaram entre 3004,11 MPa e 3312,32 MPa.

Belini (2007) analisando três diferentes condições de desfibramento, com tempo de retenção, pressão e energia específica de desfibramento variáveis, produziu painéis com densidade média de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, seguindo a norma ABNT NBR 15316 (2006) encontrou para um desfibramento intermediário, para painéis MDF de 18 mm produzidos industrialmente com fibras de eucalipto, valores médios para módulo de ruptura de 44,7 MPa e para módulo de elasticidade de 4283 MPa.

Li et al. (2009) fabricaram painéis MDF com 3,2 mm de espessura e densidade média de 0,80 g/cm<sup>3</sup>, obtendo valores médios de 33,7 MPa e 2847 MPa para módulo de ruptura e módulo de elasticidade, respectivamente. A norma utilizada foi a mesma do presente estudo, a ANSI.

### 5.2.2.2 Resistência a Tração Perpendicular

O ensaio de tração perpendicular objetiva definir a adesão interna do painel. Na tab. 13 são apresentados os resultados médios observados para resistência a tração perpendicular.

Tabela 13 - Valores Médios para Resistência a Tração Perpendicular dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO PERPENDICULAR (MPa)	CV (%)
A	P	0,53 <sup>a</sup>	20,12
B	P	0,63 <sup>b</sup>	10,84
C	P/E	0,81 <sup>c</sup>	5,81
D	P/E	0,57 <sup>ab</sup>	5,01

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os resultados para resistência a tração perpendicular variaram entre 0,53 MPa e 0,81 MPa. Verifica-se a existência de diferença estatisticamente significativa entre os painéis avaliados (ANOVA - Apêndice B - tab. 31 e tab. 32).

A norma ANSI A 208.2 (1994) determina para painéis MDF com densidade entre 0,64 g/cm<sup>3</sup> e 0,80 g/cm<sup>3</sup> e com espessura inferior a 21 mm o valor mínimo para resistência a tração perpendicular de 0,60 MPa, assim sendo as empresas A e D não satisfizeram a norma.

Observou-se que o maior valor encontrado para resistência a tração perpendicular foi para o painel C que possuía fibras de pinus e eucalipto e o menor valor foi encontrado para o painel A que possuía apenas fibras de pinus. O mesmo comportamento em painéis que possuíam fibras de eucalipto foi observado por Campos e Lahr (2004) que seguindo especificações da norma EN 319 (1993) fabricaram em laboratório painéis de pinus e eucalipto com diferentes teores de adesivo, com espessura de 10 mm e os valores médios encontrados, ao teor de 8% de adesivo, usualmente empregado em escala industrial, foram de 0,64 MPa e 0,68 MPa para os painéis de pinus e eucalipto, respectivamente.

Torquato (2008), avaliando painéis MDF comerciais de 15 mm de espessura e com densidade entre 0,69 e 0,76g/cm<sup>3</sup>, obteve valores médios entre 0,30 MPa e 0,56 MPa, permanecendo,naquele estudo, todos os valores abaixo do mínimo requisitado na norma utilizada (EN 319).

### **5.2.2.3 Arrancamento de Parafuso de Superfície e Topo**

Os valores médios para resistência ao arranque de parafuso de superfície e para arranque de parafuso de topo estão apresentados na tab. 14.

Tabela 14 - Valores Médios para Arrancamento de Parafuso de Superfície e de Topo dos Painéis MDF por Fabricante

FABRICANTE	ESPÉCIE	S (N)	CV (%)	T (N)	CV(%)
A	P	769,50 <sup>a</sup>	13,99	648,04 <sup>bc</sup>	12,51
B	P	946,18 <sup>b</sup>	8,87	705,74 <sup>c</sup>	15,00
C	P/E	840,31 <sup>a</sup>	13,79	625,30 <sup>ab</sup>	14,72
D	P/E	816,64 <sup>a</sup>	13,97	556,53 <sup>a</sup>	14,28

Nota:\* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey. CV = coeficiente de variação; S = arrancamento de parafuso de superfície; T = arrancamento de parafuso de topo. P = pinus. P/E = mistura de pinus e eucalipto.

Os valores médios observados variaram entre 769,50 N e 946,18 N e 556,53N e 705,74 N para resistência arrancamento de parafuso de superfície e topo, respectivamente. De acordo com os resultados observados, verifica-se a existência de diferença estatisticamente significativa entre os painéis avaliados (ANOVA - Apêndice B - tab. 33, tab. 34, tab. 35 e tab. 36).

Para arrancamento de parafuso de superfície o painel B difere estatisticamente dos demais e apresentou o maior valor observado. Para arrancamento de parafuso de topo também ocorreram diferenças estatísticas e o maior valor observado foi o do painel B. No entanto não se pode afirmar que painéis exclusivamente de pinus apresentam melhores resultados para arrancamento de parafuso de superfície, pois o painel A apresentou os menores valores observados.

Para arrancamento de parafuso de topo, os painéis C e D, que possuíam a mistura de fibras de pinus e eucalipto apresentaram os menores resultados.

Belini (2007) utilizando a Norma ABNT NBR 15316 (2006) analisando três diferentes condições de desfibramento, com tempo de retenção, pressão e energia específica de desfibramento variáveis, produziu painéis com densidade média de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, e encontrou para painéis MDF fabricados em linha de produção com condições intermediárias de desfibramento e com 18 mm de espessura, valores médios de 126 Kgf (1235,64 N) para resistência ao arrancamento de parafuso de

superfície e de 135 Kgf (1323,90 N) para resistência ao arrancamento de parafuso de topo.

## **6 CONCLUSÕES**

- O estudo de mercado revelou que as indústrias brasileiras fabricantes de painéis MDF estão presentes no mercado do município de Pelotas, seja por compras diretas das fábricas ou por intermediação de outras empresas;
- Com a pesquisa também foi possível determinar o principal público consumidor desses painéis, os marceneiros que efetuam trabalhos para clientes mediante encomenda;
- De modo geral, é possível concluir que as propriedades físico-mecânicas dos painéis MDF disponíveis no comércio do município de Pelotas, sem revestimento e de espessura de 18 mm, são satisfatórias, exceto para resistência a tração perpendicular em que duas empresas não atenderam os requisitos normativos.

## Referências

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-1:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-3:** Chapas de fibras de média densidade. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br>>. Acesso em: 15 jul. 2010.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Indústria Brasileira de Painéis-2006. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/documentos/madeira2006/painel2-palestra3.pdf>>. Acesso em: 8 ago. 2010.

ABIPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 9 ago. 2010.

ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2010**. Brasília, 2010. 140p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1037-99. **Standard Test Methods for Evaluating Properties of Wood - Base Fiber and Particle Panel Materials**. West Conshohocken, 2000. p.142-172.

BELINI, U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007. 89f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)- Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo.

BRASIL, A. **As Exportações Brasileiras de Painéis de Madeira**. 2002. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído. **Matéria**, v. 9, n.1, p29-40, 2004.

CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE, S., R.; Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p.105-118, 2005.

DALMASSO, L. M. **Perspectiva da Indústria de Painéis de Madeira**. 2010. 20f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal)- Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro. DURATEX. Disponível em: <[www.duratex.com.br/port/institucional/quem\\_somos/historico.asp?sessao=1990](http://www.duratex.com.br/port/institucional/quem_somos/historico.asp?sessao=1990)>. Acesso em: 20 set. 2010.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis MDF Fabricados com Diferentes Densidades e Teores de Resina**. 2000. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras )-Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook – Wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999. 463 p.

GOUVEIA, F.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p.365-370, 2003.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: jul. 2010.

ITEPA. **Madeira e Mobiliário na Zona Sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas: EDUCAT, 2006. 83p.

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

LI, X; LI, Y; ZHONG, Z; WANG, D; RATTO, J. A; SHENG, K; SUN, X. S. Mechanical and water soaking properties of medium density fiberboard with wood fiber and soybean protein adhesive. **Elsevier**, 2009.

MACEDO, A. R. P., ROQUE C. A. L. Painéis de Madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 6, 14p, 1997.

MAPA. **Cadeia produtiva de madeira**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. Agronegócios, Brasília, v. 6. 84 p. 2007.

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

MDF – Manual do usuário. Disponível em: <<http://www.duratexmadeira.com.br/Duratex/arquivos/download/manualmdf.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2010.



MDF: NPA. 1994. Medium density fiberboard (MDF), **ANSI A208.2 – 1994**. Gaithersburg, MD: National Particleboard Association.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. Disponível em: <<http://www.pelotas.com.br/home/default.php>>. Acesso em: 25 jul. 2010.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SILVA, S. A. M. **Chapa de média densidade (MDF) fabricada com poliuretano mono-componente derivada de óleo de mamona– caracterização por método destrutivo e por ultra-som**. 2003. 259f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TUOTO, M.; MIYAKE, N. A indústria de painéis de madeira supera as expectativas. **Informativo STCP**, Curitiba, n.5, p.21-22, 2001.

## **Apêndices**

**APÊNDICE A – Questionário**

Pesquisa de mercado – Comércio de painéis de madeira reconstituída em Pelotas

1) Dados da empresa

Nome: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_

Telefone: \_\_\_\_\_ Pessoa para contato: \_\_\_\_\_

Site: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

2) Painéis

A quanto tempo a empresa comercializa painéis de madeira? \_\_\_\_\_

Que tipo de painéis comercializa? \_\_\_\_\_

Quais as espessuras (bitolas) desses painéis? E quais são mais procuradas? \_\_\_\_\_

Quais são os tipos de revestimento dos painéis comercializados e os mais procurados? \_\_\_\_\_

Qual é a densidade dos painéis comercializados? \_\_\_\_\_

Dessas densidades, quais são as mais procuradas? \_\_\_\_\_

Existe diferença quanto à qualidade do produto? \_\_\_\_\_

Qual a quantidade de painéis vendida por mês? \_\_\_\_\_

Qual a origem dos painéis (empresa fabricante)? \_\_\_\_\_

Qual o preço dos painéis?

TIPO DE PAINEL	ESPESSURA	REVESTIMENTO	PREÇO

3) Consumidor

Qual é o perfil do consumidor? \_\_\_\_\_

Para qual finalidade o consumidor usa o painel? \_\_\_\_\_

4) A empresa teria possibilidade de doar um painel sem revestimento, da espessura mais comercializada, para realização dos ensaios físico-mecânicos?

5) Os dados coletados através desta pesquisa de mercado serão publicados na monografia gerada para o trabalho de conclusão de curso em Engenharia Industrial Madeireira. Cabe ao Senhor(a) a autorização da publicação do nome da empresa neste trabalho.

## APÊNDICE B – Análises Estatísticas

Tabela 15 - Análise de variância para teor de umidade

FONTES DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,19	1	0,19	1,05	0,3117
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	3,06	3	1,02	5,76	0,0026
RESÍDUO	6,20	35	0,18		

Tabela 16 - Parâmetros estatísticos para teor de umidade

FABRICANTE	N° CP	TEOR DE UMIDADE (%)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	10	8,13	0,13	7,86	8,40
B	10	8,12	0,28	7,55	8,68
C	10	8,82	0,14	8,54	9,11
D	10	9,08	0,23	8,61	9,55

Tabela 17 - Análise de variância para densidade

FONTES DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
Entre Grupos	0,12	3	0,04	450,59	0,0000
Dentro dos Grupos	0,04	396	0,00		

Tabela 18 - Parâmetros estatísticos para densidade

FABRICANTE	N° CP	DENSIDADE (g/cm³)	ERRO PADRÃO	MÍNIMO	MÁXIMO
A	100	0,69	0,01	0,66	0,71
B	100	0,72	0,01	0,66	0,73
C	100	0,69	0,01	0,67	0,70
D	100	0,67	0,01	0,64	0,70

Tabela 19 - Análise de variância para absorção de água 2 horas

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,060	1	0,060	0,85	0,3596
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	18,18	3	6,06	86,06	0,0000
RESIDUAL	5,28	75	0,0706		

Tabela 20 - Parâmetros estatísticos para absorção de água 2 horas

FABRICANTE	N° CP	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	2,41	0,06	2,29	2,52
B	20	2,36	0,11	2,15	2,57
C	20	1,92	0,06	1,80	2,05
D	20	3,36	0,09	3,19	3,54

Tabela 21 - Análise de variância para log absorção de água 24 horas

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,12	1	0,129	5,82	0,0183
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	0,31	3	0,10	4,88	0,0037
RESIDUAL	1,59	75	0,02		

Tabela 22 - Parâmetros estatísticos para absorção de água 24 horas

FABRICANTE	N° CP	ABSORÇÃO DE ÁGUA (%)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	14,67 (2,67)	0,50 (0,033)	13,67 (2,60)	15,68 (2,73)
B	20	12,32(2,50)	0,90(0,06)	10,5355(2,39)	14,1139(2,62)
C	20	12,78(2,54)	0,53231(0,03)	11,718(2,48)	13,8388(2,61)
D	20	15,60(2,71)	0,75(0,05)	14,1097(2,61)	17,09(2,81)

Nota: \*entre parênteses dados transformados para log.

Tabela 23 - Análise de variância para inchamento em espessura 2 horas

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,00	1	0,00	0,01	0,9094
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	9,41	3	3,14	55,37	0,0000
RESIDUAL	4,25	75	0,06		

Tabela 24 - Parâmetros estatísticos para inchamento em espessura 2 horas

TRATAMENTO	N° CP	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	2,27	0,05	2,16	2,37
B	20	1,48	0,10	1,29	1,66
C	20	1,53	0,06	1,42	1,64
D	20	2,44	0,08	2,28	2,60

Tabela 25 - Análise de variância para inchamento em espessura 24 horas

FORTE DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	0,02	1	0,02	0,03	0,8712
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	134,87	3	44,96	79,50	0,0000
RESÍDUO	42,41	75	0,57		

Tabela 26 - Parâmetros estatísticos para inchamento em espessura 24 horas

FABRICANTE	N° CP	INCHAMENTO EM ESPESSURA (%)	ERRO PADÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	12,80	0,17	12,46	13,13
B	20	9,06	0,30	8,46	9,66
C	20	9,67	0,18	9,32	10,08
D	20	11,34	0,25	10,84	11,84



Tabela 27 - Análise de variância para módulo de ruptura

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	13,45	1	13,45	2,24	0,1386
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	360,17	3	120,06	20,01	0,0000
RESIDUAL	449,93	75	6,00		

Tabela 28 - Parâmetros estatísticos para módulo de ruptura

FABRICANTE	N° CP	MOR (MPa)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	37,88	0,58	36,73	39,04
B	20	44,04	1,12	41,82	46,27
C	20	40,54	0,55	39,45	41,63
D	20	32,41	0,93	30,56	34,25

Tabela 29 - Análise de variância para módulo de elasticidade

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	353758,00	1	353758,00	7,68	0,0070
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	1,33409E6	3	444697,00	9,65	0,0000
RESÍDUO	3,45545E6	75	46072,60		

Tabela 30 - Parâmetros estatísticos para módulo de elasticidade

FABRICANTE	N° CP	MOE (MPa)	ERRO PADÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	3621,65	50,83	3520,38	3722,91
B	20	4094,40	97,83	3899,50	4289,29
C	20	3524,24	48,09	3428,43	3620,04
D	20	3519,58	81,17	3357,88	3681,28

Tabela 31 - Análise de variância para resistência a tração perpendicular

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEIS					
Densidade	0,02	1	0,02	4,10	0,0507
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	0,48	3	0,16	35,41	0,0000
RESÍDUO	0,16	35	0,01		

Tabela 32 - Parâmetros estatísticos para resistência a tração perpendicular

FABRICANTE	N° CP	RESISTÊNCIA			
		A TRAÇÃO PERPENDICULAR (MPa)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	10	0,53	0,02	0,48	0,57
B	10	0,63	0,04	0,54	0,71
C	10	0,81	0,02	0,77	0,86
D	10	0,57	0,03	0,50	0,64

Tabela 33 - Análise de variância para arrancamento de parafuso de superfície

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	15829,20	1	15829,20	1,43	0,2354
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	205548,00	3	68515,90	6,19	0,0008
RESÍDUO	829704,00	75	11062,70		

Tabela 34 - Parâmetros estatísticos para arrancamento de parafuso de superfície

FABRICANTE	N°CP	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DE SUPERFÍCIE (N)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	769,50	23,53	722,63	816,38
B	20	946,18	37,55	871,39	1020,98
C	20	840,31	24,28	791,95	888,67
D	20	816,64	33,56	749,77	883,50

Tabela 35 - Análise de variância para arrancamento de parafuso de topo

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GI	QUADRADO MÉDIO	F	P
COVARIÁVEL					
Densidade	1304,19	1	1304,19	0,16	0,6923
EFEITO PRINCIPAL					
Fabricante	40601,60	3	13533,90	1,64	0,1879
RESÍDUO	619877,00	75	8265,03		

Tabela 36 - Parâmetros estatísticos para arrancamento de parafuso de topo

FABRICANTE	N° CP	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO DE TOPO (N)	ERRO PADRÃO	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
A	20	648,04	20,34	607,53	688,55
B	20	705,74	41,97	622,14	789,35
C	20	625,30	21,32	582,82	667,78
D	20	556,53	36,90	483,01	630,04