

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

**LUCIANE SIMAL ALVES**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EMPRESAS MOVELEIRAS DA REGIÃO  
DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO PARA CONFECÇÃO E AVALIAÇÃO DE PAINÉIS  
AGLOMERADOS**

Ilha Solteira

2013

**LUCIANE SIMAL ALVES**

**APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EMPRESAS MOVELEIRAS DA REGIÃO  
DE SÃO JOSÉ DO RIO PRETO PARA CONFECCÃO E AVALIAÇÃO DE PAINÉIS  
AGLOMERADOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus  
de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para a  
obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil  
Área de Conhecimento: Estruturas e Materiais

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva  
Orientador

Prof. Dr. Antônio Anderson da Silva Segantini  
Co-orientador

Ilha Solteira

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

A474a Alves, Luciane Simal.  
Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados / Luciane Simal Alves. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013  
128 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas , 2013

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva  
Co-orientador: Antônio Anderson da Silva Segantini  
Inclui bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Aglomerados. 3. Resíduos. 4. Moveleira . 5. Madeira.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados

**AUTORA:** LUCIANE SIMAL ALVES


**ORIENTADOR:** Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S SEGANTINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

  
Prof. Dr. MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA  
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru

  
Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR  
Departamento de Estruturas / Universidade de São Paulo

Data da realização: 20 de dezembro de 2013.

## **DEDICATÓRIA**

A Deus, aos meus queridos pais José e Eny,  
aos meus irmãos Marcos e Larissa e meu  
namorado Renan.

## **AGRADECIMENTOS**

### **A DEUS**

Pela presença constante, por todas as oportunidades concedidas, auxílio nas escolhas e conforto nas horas difíceis.

### **À MINHA FAMÍLIA**

Pelo amor incondicional, apoio e incentivo. Devo a vocês tudo de melhor que fui, que sou e serei. E ao meu namorado, Renan, por fazer minha caminhada cada dia mais feliz.

### **À UNESP**

Pela infraestrutura disponibilizada durante o curso e durante a elaboração deste trabalho.

### **AOS PROFESSORES**

A todos os professores do curso de Graduação e Pós Graduação em Engenharia Civil pelos ensinamentos.

Em especial:

ao professor Sérgio Augusto Mello da Silva pela exímia orientação, amizade e a quem devo boa parte do sucesso deste trabalho. Meus méritos são todos seus também.

ao professor Antônio Anderson da Silva Segantini pelo apoio.

ao professor Francisco Antonio Rocco Lahr pelo grande incentivo, oportunidades concedidas e importantes colaborações.

ao professor Maximiliano dos Anjos Azambuja pela disponibilidade, contribuição e apoio.

ao professor André Luis Christoforo pelos conhecimentos transmitidos e em especial pela orientação no trabalho estatístico.

### **AOS AMIGOS E COLEGAS DE CURSO**

Pela compreensão, amizade, companhia, apoio e troca de experiências. Em especial minhas queridas amigas Vanessa e Susana.

### **AOS FUNCIONÁRIOS DA UNESP**

A todos os funcionários da Unesp de Ilha Solteira e Bauru, pelo carinho e atenção que sempre recebi e que de alguma forma contribuíram para o andamento e conclusão deste trabalho.

### **À USP- SÃO CARLOS E SEUS COLABORADORES**

Pela disponibilidade do laboratório e disposição em ajudar, em especial ao técnico Aparecido Galindo na realização de alguns ensaios, à pesquisadora “Fatinha” e aos colegas de pós-graduação que tive a oportunidade de conhecer e aprender em alguns momentos.

### **AOS FORNECEDORES**

Ao Ricardo, da indústria química Plural, pela doação da resina poliuretana à base de óleo de mamona e interesse na pesquisa.

À Momentive Química do Brasil Ltda, pela doação da resina ureia-formaldeído e incentivo ao estudo.

Às fábricas de móveis, serrarias e madeireiras de São José do Rio Preto pela doação das partículas de madeira, em especial, à fábrica Móveis do Carmo.

**“A mente que se abre a uma nova ideia jamais  
voltará ao seu tamanho original.”**

Albert Einstein

## RESUMO

Os painéis de madeira aglomerada, ou chapas de madeira aglomerada, vêm sendo amplamente utilizados, principalmente nas indústrias moveleiras e mais recentemente, em vários setores da construção civil. O grande volume de resíduos gerados pelas serrarias e indústrias moveleiras viabiliza o desenvolvimento de materiais sustentáveis, como o aproveitamento destes insumos na forma de painéis, gerando um produto com valor agregado. Dentro deste contexto, o Brasil possui excelentes condições para produção de painéis aglomerados. Este trabalho apresenta um estudo da produção e avaliação de painéis de madeira aglomerado confeccionados com resíduos de quatro espécies de madeiras de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto, noroeste do Estado de São Paulo. Os resíduos coletados nas empresas foram processados em moinho de facas para ajuste da granulometria, e em seguida confeccionou-se os painéis considerando-se 5 MPa de pressão para compactação dos painéis, 110<sup>0</sup>C e 130<sup>0</sup>C, tempo de prensagem de 10 min e emprego de resina poliuretana à base de mamona (PU mamona) e ureia formaldeído (UF) na proporção de 10% em relação à massa seca das partículas. O desempenho físico-mecânico dos painéis foi avaliado com base na NBR 14810 (ABNT, 2006), EN 317, EN 319, EN 323 (EURO NORMA, 1993) e a norma americana CS 236-66 (COMERCIAL STANDARD, 1968) e realizou-se análise de variância (ANOVA) para avaliação da influência dos fatores adotados. Os resultados obtidos para as propriedades de resistência à Flexão Estática e Tração Perpendicular foram de 10,89MPa e 0,53MPa para painéis com UF e 13,08MPa e 1,32MPa para painéis com PU mamona, respectivamente. Com base nos estudos realizados, os resultados obtidos tanto para as propriedades físicas, como para as propriedades mecânicas, evidenciam a viabilidade de produção de painéis de madeira aglomerada com resíduos de empresas moveleiras, para utilização em finalidades compatíveis com produtos desta natureza.

**Palavras-chave:** Painéis. Aglomerados. Resíduos. Moveleira. Madeira.



## ABSTRACT

Particleboards have been widely used, mainly, in furniture industry and, more recently, in several construction sectors. The great amount of waste and limiting generated by sawmill and furniture industry have made possible the development of sustainable materials as the reuse of such raw material in panels, resulting in a higher added value product.

The research herein shows a production and assessment study of particleboards made of 4 wood waste species from furniture factories in São José do Rio Preto region, northeast São Paulo state. The collected waste has been processed in knife mills for granulometric gauging and, afterwards panels have been made under 54MPa compaction pressure, 110°C, 10 min pressing time, and addition of both bicomponent polyurethane resin base on castor oil (castor PU) and urea-formaldehyde (UF), 10% ratio to the particles dry mass. The panels physic-mechanical performance has been assessed according to NBR 14810 (ABNT, 2006), EN 317, EN 319, EN 323 (EURO RULE, 1993) and American rule CS 236-66 (COMERCIAL STANDARD, 1968) and (ANOVA) variance analysis has been carried out for the adopted factors influence assessment. The results for both the strength bending modulus (MOR) and internal adhesion properties have been 10.89 MPa and 0.53 MPa for the UF panels, and 13.08 MPa and 1.32 MPa for castor PU panels, respectively. The results for both physical and mechanical properties, based on the studies carried out, have clearly shown particleboards production feasibility using furniture factories waste, which could be applied in compatible purposes as effectively as other same nature products.

**Keywords:** Panels. Particleboard. Waste. Furniture. Wood.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Distribuição territorial das indústrias de painéis filiadas à Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA).....	21
<b>Figura 2</b>	Processo produtivo industrial dos painéis .....	25
<b>Figura 3</b>	Características das florestas brasileiras .....	29
<b>Figura 4</b>	Reaproveitamento de resíduos da madeira .....	33
<b>Figura 5</b>	Materiais empregados para produção dos painéis: (a) Partículas de madeira; (b) Adesivo de contato (FASTBOND) utilizado nos ensaio exploratórios; (c) resina ureia-formaldeído; (d) e (e) Poliuretana bicomponente de óleo de mamona (pré-polímero e polioliol), respectivamente .....	42
<b>Figura 6</b>	Moinho do tipo Willye .....	43
<b>Figura 7</b>	Misturador de tambor .....	43
<b>Figura 8</b>	Formadora de colchão de partículas: (a) forma quadrangular de madeira e (b) chapa metálica sendo revestida com filme de poliéster .....	44
<b>Figura 9</b>	Prensa hidráulica.....	44
<b>Figura 10</b>	Máquina universal de ensaios EMIC.....	45
<b>Figura 11</b>	Máquina Universal de Ensaio AMSLER .....	45
<b>Figura 12</b>	Processamento do resíduo para obtenção das partículas: (a) Detalhes do interior do moinho de facas ilustrando o eixo com as facas e (b) Ilustração do moinho de facas no momento da moagem.....	47
<b>Figura 13</b>	Adição e homogeneização do adesivo: (a) Adição do adesivo, (b) Homogeneização manual, (c) Homogeneização em “encoladeira” .....	48

<b>Figura 14</b>	Formação do colchão de partículas: (a) Deposição das partículas na formadora de colchão e pré-prensagem com aproximadamente 0,43 Kgf/cm <sup>2</sup> , (b) Remoção da forma e (c) Colchão de partículas pronto para prensagem em prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.....	49
<b>Figura 15</b>	Prensagem dos painéis. (a) Equipamento no momento de aplicação da pressão e (b) Momento de alívio de pressão.....	50
<b>Figura 16</b>	Ensaio para determinação da densidade: (a) Medição do corpo de prova para determinação do volume e (b) Determinação da massa .....	52
<b>Figura 17</b>	Ilustrações do ensaio de inchamento e absorção (a) Corpo de prova esquadrejado (25mmx25mm); (b) Grelha em aço inox para manter o corpo de prova submerso; (c) Nível de água com cerca de 25 mm acima da superfície da amostra; (d) Remoção do excesso de água nos cps; (e) Pesagem; e (f) Medição da espessura com paquímetro.....	54
<b>Figura 18</b>	Ilustrações das etapas para realização do ensaio para determinação da umidade: (a) Pesagem das amostras antes e após 4h de estufa; (b) Interior da estufa e (c) Dispositivo para regulagem da temperatura dentro do intervalo estabelecido pela NBR 14810:2006 (103± 2°C).....	55
<b>Figura 19</b>	Ilustração das estapas para realização dos ensaios de arrancamento de parafuso - FACE e TOPO: (a), (b) e (c) furação, fixação na face do cp e arrancamento de parafuso; (d), (e) e (f) furação, fixação no topo do cp e arrancamento de parafuso, respectivamente.....	56
<b>Figura 20</b>	Ilustração de etapas do ensaio de flexão (a) execução do ensaio para determinação do MOR e MOE e (b) Detalhe ilustrando o corpo de prova submetido a ação de uma carga centralizada e dois apoios fixos nas extremidades.....	57
<b>Figura 21</b>	Ilustrações das etapas para realização do ensaio de adesão interna (a) Corpo de prova e suportes metálicos preparados para realização do ensaio; (b) Momento da ruptura do corpo de prova e (c) Aspectos gerais ilustrando os suportes metálicos e a linha de ruptura do corpo de prova.....	--
<b>Figura 22</b>	Análise granulométrica as partículas.....	
<b>Figura 23</b>	Gráficos de efeitos principais da ANOVA para o fator uso do limitador (a) densidade, (b) inchamento 2h e (c) absorção 24h.....	65

<b>Figura 24</b>	Resultados dos modelos de regressão linear (a), quadrático (b) e cúbico (c) do inchamento em espessura após 24h em função da densidade .....	67
<b>Figura 25</b>	Resultados dos modelos de regressão linear (a), quadrático (b) e cúbico (c) da absorção de água após 24h em função da densidade.....	68

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Números do mercado nacional em 2012 segundo ABIPA.....	21
<b>Tabela 2</b>	Classificações comercial dos produtos de madeira .....	37
<b>Tabela 3</b>	Parâmetros para painéis segundo NBR 14810:2006, Euro Norma e CS.....	38
<b>Tabela 4</b>	Características do adesivo de contato à base de água.....	40
<b>Tabela 5</b>	Propriedades da resina ureia-formaldeído. ....	41
<b>Tabela 6</b>	Características da resina poliuretana à base de mamona.....	42
<b>Tabela 7</b>	Tratamentos empregados para confecção dos painéis dos estudos exploratórios .....	51
<b>Tabela 8</b>	Parâmetros para confecção dos novos painéis.....	51
<b>Tabela 9</b>	Teor de umidade das partículas .....	61
<b>Tabela 10</b>	Avaliação das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina ureia-formaldeído sem uso do limitador de espessura (T1) .....	63
<b>Tabela 11</b>	Análise das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina ureia-formaldeído com uso do limitador de espessura (T2) .....	63
<b>Tabela 12</b>	Análise das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina FASTBOND sem uso do limitador de espessura (T3) .....	63
<b>Tabela 13</b>	Resultados da ANOVA para a influência do uso do limitador de espessura nas físicas dos painéis confeccionados empregando-se resina ureia-formaldeído .....	
<b>Tabela 14</b>	Resultados da ANOVA para a influência do uso do limitador.....	66

<b>Tabela 15</b>	Resultados do teste de Tukey para o melhor tratamento por resposta.....	67
<b>Tabela 16</b>	Propriedades físicas dos painéis confeccionados com resina ureia formaldeído.....	70
<b>Tabela 17</b>	Propriedades físicas dos painéis confeccionados com resina poliuretana à base de mamona.....	71
<b>Tabela 18</b>	Propriedades físicas médias dos painéis confeccionados com UF e PU .....	71
<b>Tabela 19</b>	Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com resina UF .....	75
<b>Tabela 20</b>	Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com resina PU Mamona.....	75
<b>Tabela 21</b>	Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com UF e PU Mamona.....	76
<b>Tabela 22</b>	Resultados das propriedades físicas e mecânicas .....	79
<b>Tabela 23</b>	Resultados da ANOVA de Kruskal-Wallis e dos agrupamentos pelo teste de comparações entre postos de Student-Newman-Keuls .....	79
<b>Tabela 24</b>	Propriedades avaliadas .....	100

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b>	Produção mundial de painéis de madeira nos últimos 10 anos .....	22
<b>Gráfico 2</b>	Projeção da Produção de Painéis de Madeira (2010-2020).....	22
<b>Gráfico 3</b>	Consumo mundial per capita de MPD.....	23
<b>Gráfico 4</b>	Consumo mundial per capita de MPD.....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abs 2h ou AA 2h	Absorção em 2 horas de imersão em água
Abs 24h ou AA24h	Absorção em 24 horas de imersão em água
AI	Adesão interna
APF	Arrancamento de parafuso de face
APT	Arrancamento de parafuso de topo
Inc 2h ou I 2h	Inchamento em 2 horas de imersão em água
Inc 24h ou I24h	Inchamento em 24 horas de imersão em água
MOE	Módulo de elasticidade na flexão estática
MOR	Módulo de ruptura na flexão estática
PU	Resina Poliuretana à base de óleo de mamona
TU	Teor de umidade
UF	Resina ureia formaldeído
$\rho$	Densidade



# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
2.1	Panorama da produção de painéis de partículas no mundo e no Brasil.....	20
2.2	Produção dos painéis.....	24
2.3	Produção florestal.....	29
2.4	Utilização de resíduos de madeira.....	30
2.5	Adesivos utilizados para produção de painéis.....	34
2.5.1	Ureia-formaldeído.....	35
2.5.2	Resina poliuretana à base de óleo de mamona.....	35
2.6	Classificação comercial dos produtos derivados de madeira.....	37
2.7	Considerações finais da revisão bibliográfica.....	38
<b>3</b>	<b>OBJETIVO.....</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
4.1	Materiais e Equipamentos.....	40
4.2	Determinação das propriedades das partículas.....	46
4.2.1	Teor de umidade.....	46
4.2.2	Análise granulométrica.....	46
4.3	Procedimentos para confecção dos painéis.....	47
4.4	Estudos preliminares.....	50
4.5	Confecção e avaliação de novos painéis considerando-se os ajustes nos parâmetros.....	51

4.5.1	Determinação da densidade.....	51
4.5.2	Determinação do inchamento e absorção.....	53
4.5.3	Determinação da umidade.....	54
4.5.4	Resistência ao arrancamento de parafuso.....	55
4.5.5	Flexão e módulo de elasticidade .....	56
4.5.6	Tração perpendicular ou Adesão Interna.....	58
4.6	Análise estatística.....	59
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>59</b>
5.1	Caracterização das partículas .....	59
5.1.1	Análise granulométrica .....	59
5.1.2	Teor de umidade.....	61
5.2	Propriedades físicas e mecânicas de painéis confeccionados nos estudos preliminares ..	62
5.3	Propriedades físicas e mecânicas de painéis com ajustes nos parâmetros de confecção . ...	70
5.3.1	Propriedades físicas.....	70
5.3.2	Propriedades mecânicas .....	74
5.3.3	Análise estatística.....	78
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS .....</b>	
<b>8</b>	<b>ARTIGOS APROVADOS PARA PUBLICAÇÃO E/OU PUBLICADOS DESTE ESTUDO .....</b>	<b>81</b>
	Referências.....	83

Anexo A .....	90
Anexo B .....	96
Anexo C .....	108
Anexo D .....	118

## 1 INTRODUÇÃO

As questões de sustentabilidade, que podem ser conceituadas como o ato de promover meios de produção, distribuição e consumo dos recursos existentes, de forma coesiva, economicamente eficaz e ecologicamente correta (BARBOSA, 2008), vêm requerendo a atenção mundial.

Neste contexto, estão inseridos os painéis de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos oriundos da indústria moveleira, o que agrega valor a este recurso secundário e abundante.

Os aglomerados são conceituados por Silva e Lahr (2013), Bertolini et al. (2012), Iwakiri (2005), Maloney (1993) e Moslemi (1974) como painéis produzidos com partículas de madeira, incorporando-se resinas sintéticas ou outros adesivos, consolidados por meio de um ciclo de prensagem, aplicando-se temperatura e pressão constantes.

As propriedades dos aglomerados podem ser melhoradas em função da granulometria das partículas, da quantidade e tipo do adesivo utilizado, da pressão, do tempo e da temperatura de prensagem, bem como da eventual introdução de aditivos durante o processo de fabricação (ISAIA, 2010).

Uma questão ambiental em termos dos insumos aplicados em painéis a ser considerada refere-se à origem dos adesivos. A resina PU mamona, por ser oriunda de um produto renovável e emitir gases que não são nocivos ao homem (CARLO, 2002) durante o processo de fabricação dos painéis, representa uma alternativa para a industrialização destes produtos em substituição aos adesivos à base de formaldeído, usualmente empregados na produção de painéis de madeira e que apresentam o inconveniente de liberar formaldeído (produto considerado cancerígeno) durante o processo de prensagem dos painéis.

Um número considerável de estudos tem sido desenvolvido no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos madeireiros, principalmente na produção de painéis de partículas, porém, a utilização dos rejeitos com mistura de diversas espécies de madeiras tem sido pouco explorada.

Neste sentido, o presente trabalho apresenta um estudo sobre o aproveitamento de resíduos obtidos em empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto, sem pré-seleção da espécie de madeira. Considerando, entretanto, o tratamento do resíduo por meio de moinho de facas, objetivando-se a adequação da forma e granulometria do resíduo.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Panorama da produção de painéis de partículas no mundo e no Brasil**

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 1940, devido ao seu isolamento durante a 2ª Guerra Mundial. Representava uma forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, mediante a dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados (IWAKIRI, 2005).

Na segunda metade da década de 1960, o aglomerado começou a ser fabricado no Brasil, quando o grupo francês Louis Dreiffus construiu a primeira fábrica denominada Placas do Paraná, em Curitiba. Em 1970, surgiu a fábrica da Satipel, localizada em Taquari (RS). Posteriormente, foram instaladas as fábricas do grupo nacional Peixoto de Castro (MADEPLAN; ALPLAN) e a do grupo alemão Freundemberg que, em 1984, foram compradas pela Duratex. A partir de então, em 1990, iniciou-se um novo ciclo de investimentos em capacidade de prensas contínuas, o que até então era feito em prensas cíclicas. As fábricas antigas foram se modernizando e ampliando a capacidade, ao mesmo

tempo em que surgiam novos participantes, como a Eucatex, em 1996, e em 1998 a Tafisa, empresa do grupo português Sonae (MATTOS et al., 2008).

Segundo Associação Brasileira da Indústria de Painéis- ABIPA (2013), a capacidade nominal instalada brasileira do aglomerado, ou mais recentemente evoluídos para *Medium Density Particleboard* (MDP), passou de 2.800.000 m<sup>3</sup> em 2005 para 4.790.000 m<sup>3</sup> em 2012, representando, aproximadamente 71% de crescimento em 7 anos. A Tabela 1 mostra os valores de produção, importação, exportações, consumo interno e capacidade nominal dos diversos painéis de madeira.

Tabela 1 - Números do mercado nacional em 2012 segundo ABIPA

Produto	Volumes (m <sup>3</sup> ) em 2012				
	Produção	Importação	Exportação	Consumo Interno	Capacidade Nominal Instalada
<b>MDP</b>	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790.000
<b>MDF</b>	3.678.407	91.758	115.693	3.654.472	5.125.000
<b>HDF</b>	364.615	10.995	101.789	273.821	440.000
<b>CONSOLIDADO</b>	7.303.668	105.452	248.094	7.161.026	10.355.000

Fonte: Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - ABIPA (2013).

Verifica-se pela Figura 1 que as indústrias ainda se concentram nas regiões sul e sudeste do Brasil.

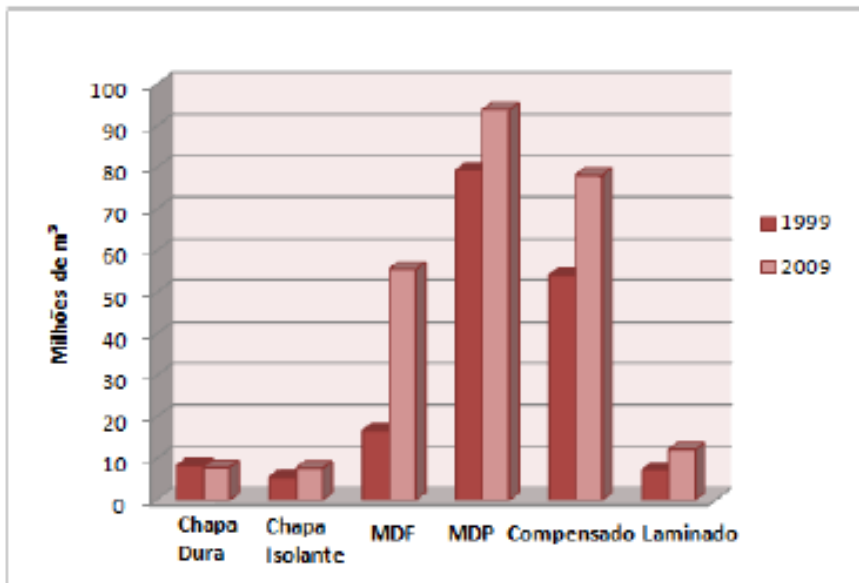
Figura 1 - Distribuição territorial das indústrias de painéis filiadas à Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA)



Fonte: ABIPA (2013).

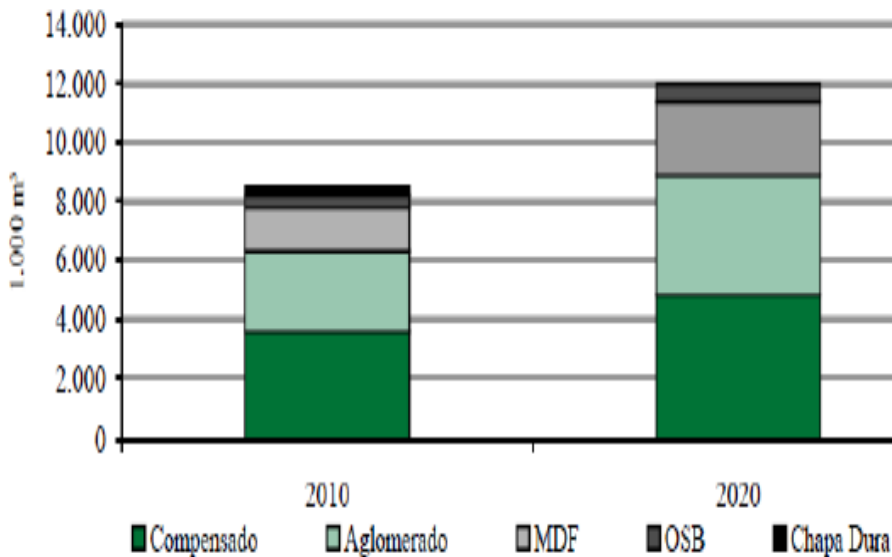
Tanto nacional como mundialmente, os painéis aglomerados têm apresentado uma das maiores taxas de crescimento, alcançando mais de 90 milhões de m<sup>3</sup> em 2009, segundo a Organização de Alimento e Agricultura - FAO (2010), como mostra o Gráfico 1. Isto se deve principalmente à variedade e facilidade no emprego em diversas áreas (BERTOLINI, 2011). O Gráfico 2 ilustra a produção de painéis em 2010 e sua projeção para 2020 em nível mundial, dando-se destaque aos aglomerados.

Gráfico 1 - Produção mundial de painéis de madeira nos últimos 10 anos



Fonte: FAO (2010) citado por Bertolini (2011).

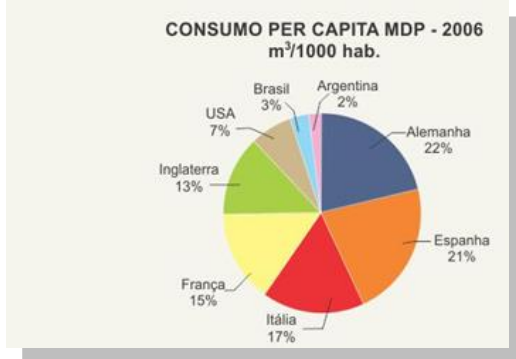
Gráfico 2 - Projeção da Produção de Painéis de Madeira (2010-2020)



Fonte FAO (2004) citada por Bertolini (2012).

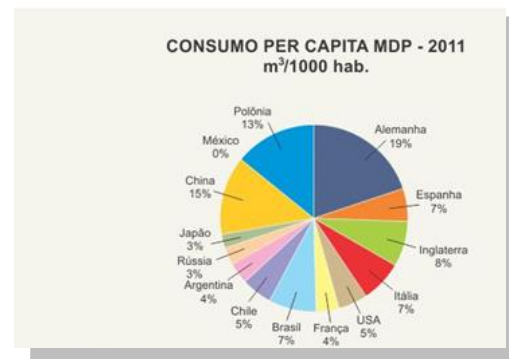
Ainda em termos mundiais, segundo dados da ABIPA (2012), houve uma diversificação de países consumidores de painéis, como ilustra o comparativo de dados (Gráficos 3 e 4) que relaciona o consumo per capita de MDP entre os anos de 2006 e 2011. Em 2006 concentrava-se em 8 países e em 2011 passou para 14 países consumidores. Ressalta-se que no Brasil houve um aumento no consumo de 3% para 7% neste período.

Gráfico 3 - Consumo mundial per capita de MPD



Fonte: EPF/ABIPA (2006).

Gráfico 4 - Consumo mundial per capita de MPD



Fonte: EPF/ABIPA (2011).

Os principais fatores que impulsionam o consumo dos painéis são: busca de alternativas à madeira maciça, que encareceu; possibilidade de se obter propriedades menos discrepantes em suas direções preferenciais; modernização tecnológica do parque fabril e melhoria da renda dos consumidores. Em conjunto, estes fatores deram forte impulso à construção civil e ao setor de móveis. (MATTOS et al., 2008).

Estima-se que 4% da produção brasileira de aglomerados destinam-se ao segmento da construção civil, como pisos residenciais, divisórias, forros, elementos integrantes de estruturas de escadas, etc (ABIPA, 2009). Entretanto, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira ABIPA (2012), as aplicações dos painéis aglomerados ainda têm sido em grande parte na indústria moveleira (tampas de mesas, divisórias e laterais de armários e estantes). A indústria de embalagens também se caracteriza como um cenário promissor, devido às constantes pesquisas objetivando propriedades superiores para estes painéis. (BERTOLINI et al., 2012).



## 2.2 Produção dos painéis

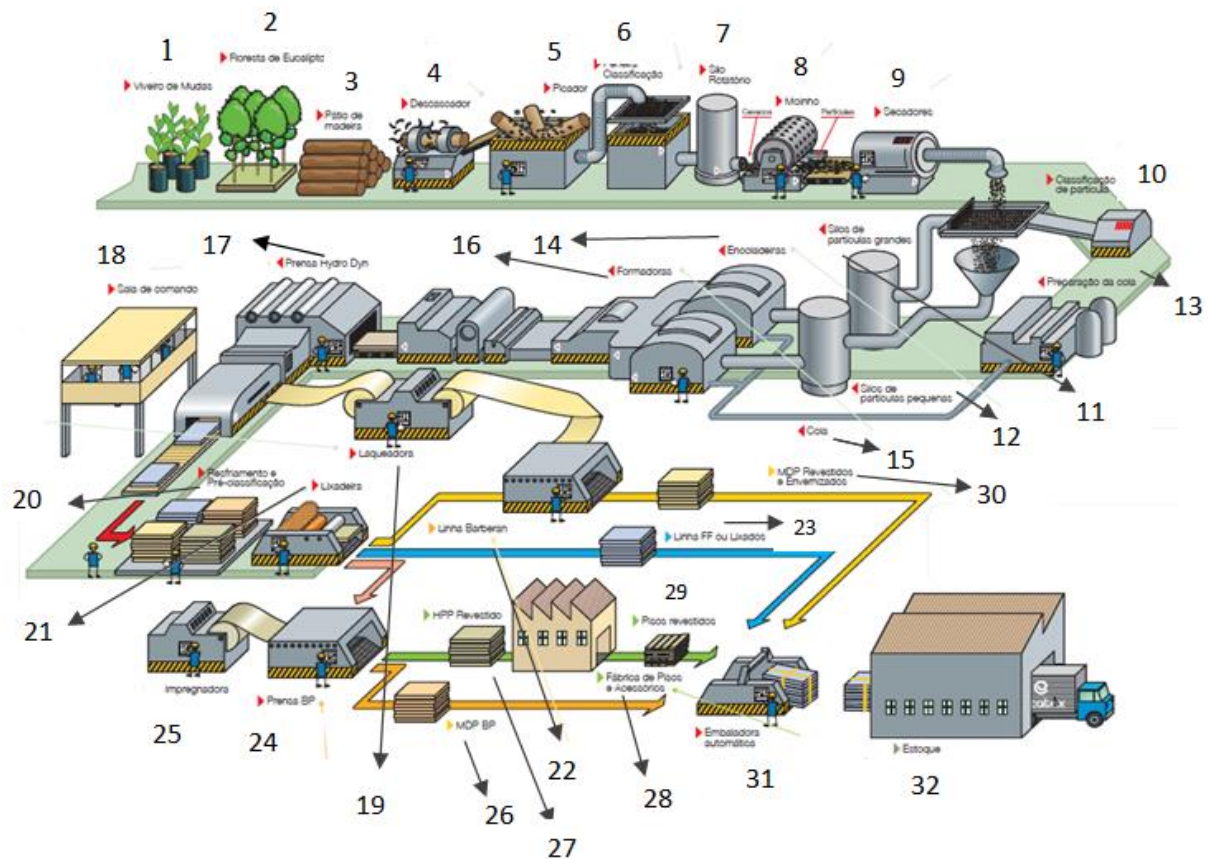
O princípio de fabricação faz com que o aglomerado apresente vantagens em relação aos outros compostos de madeira, e também à madeira serrada. Vários autores se referem a estes aspectos, e estudam como melhorar suas propriedades físico-mecânicas, como (IWAKIRI, 2005; SILVA; LAHR, 2007; VARANDA, 2012; CHRISTOFORO et al., 2013; SILVA et al., 2013; NASCIMENTO et al., 2013).

Destacam-se entre as vantagens dos painéis particulados:

- Redução dos efeitos da anisotropia;
- Eliminação de aspectos redutores da resistência, como: nós, inclinação da grã, lenhos juvenil, dentre outros;
- Possibilidade de alteração das propriedades físico-mecânicas, por meio das variáveis do processo, como por exemplo, a resina, a geometria das partículas, o grau de densificação, o tempo e temperatura de prensagem;
- Menos exigências quanto ao diâmetro das toras, forma do fuste e defeitos;
- Possibilidade de reaproveitamento de resíduos na produção;
- Menor custo de produto e mão de obra;

A Figura 2 ilustra as etapas do processo produtivo industrial de painéis de partículas e pisos.

Figura 2 - Processo produtivo industrial dos painéis



Fonte: Eucatex (2013).

- 1- Viveiro de mudas
- 2- Floresta de Eucalipto
- 3- Pátio de madeira

O viveiro produz mudas clonais para as fazendas, que abastecem as unidades fabris. As toras são cortadas e limpas, galhos e folhas são retirados e separados, e a madeira é transportada por caminhões até a fábrica.

- 4- Descascador
- 5- Picador

As toras são estocadas na empresa e levadas para o Descascador, que retira a casca da madeira. Depois passam para o Picador, que as transforma em cavacos (chips).

**6- Peneira Classificação**

**7- Silo Rotatório**

Uma peneira realiza a classificação mecânica dos cavacos conforme o tamanho. Eles são armazenados e a retirada é feita por uma rosca dosadora que alimenta o Silo Rotativo.

**8- Moinho**

Os Moinhos transformam os cavacos em partículas.

**9- Secadores**

Secadores reduzem a umidade da madeira a 2%.

**10- Classificação de partículas**

**11- Silos de partículas grandes**

**12- Silos de partículas pequenas**

Através de peneiras e utilizando um sistema de classificador, as partículas são separadas de acordo com sua utilização no painel. Para a camada interna são utilizadas partículas maiores (grossas) e para a camada externa, menores (finas). As partículas fora da especificação são moídas novamente. O pó é reaproveitado na geração de calor (energia para os Secadores).

**13- Preparação da cola**

**14- Encoladeiras**

**15- Cola**

Balanças pesam as camadas interna e externa que formarão o painel, informando ao sistema de “encolagem” a quantidade de cola necessária pra aplicação sobre as partículas de madeira.

**16- Formadoras**

Após o processo de “encolagem”, a estrutura forma a camada externa inferior do painel (partículas finas), em seguida a camada interna (partículas um pouco mais grossas) e, por último, a camada externa superior (partículas finas).

**17- Prensa Hydro Dyn****18- Sala de comando**

Sob ação de alta temperatura e pressão, a Prensa molda o colchão de partículas e forma o painel (revestido ou não com papel FF - Finish-Foil). Suas características são diferenciadas, conforme o tipo de produto e a necessidade do cliente.

**19- Laqueadora**

A Laqueadora beneficia papéis com aplicação de vernizes para revestimento de painéis MDP, utilizados na indústria moveleira em geral. Os painéis podem ser aplicados diretamente na Prensa Hydro-Dyn ou na Linha Barberan.

**20- Resfriamento e Pré-classificação****21- Lixadeira**

O painel sai da Prensa Hydro-Dyn e segue para a etapa de Resfriamento e Pré-Classificação. Um equipamento de lixamento faz a calibração da espessura dos painéis pra futuro revestimento e classificação. O primeiro produto finalizado, que sai desta etapa, é o MDP FF ou Lixado. Outras peças vão para a Prensa BP e para a Linha Barberan, conforme o destino final.

**22-** Linha Barberan

**23-** Linha FF ou Lixados

**30-** MDP Revestidos e Envernizados

Na Linha Barberan, os painéis MDP são revestidos com papel FF (finish foil) e aplicação de vernizes Ultravioletas (UV). O MDP Revestido e Envernizado segue para os clientes.

**24-** Prensa BP

**26-** MDP BP

A Prensa BP faz o revestimento de painéis MDP (que segue para comercialização) e HPP (piso) com papel decorativo BP, que vai para a Fábrica de Pisos e Acessórios.

**25-** Impregnadora

A impregnadora beneficia papéis com aplicação de resina melamínica (confere maior resistência ao desgaste e à umidade) e vernizes para revestimento de painéis MDP, utilizados na indústria moveleira em geral.

**27-** HPP Revestido

**28-** Fábrica de Pisos e Acessórios

**29-** Pisos revestidos

**31-** Embaladora automática

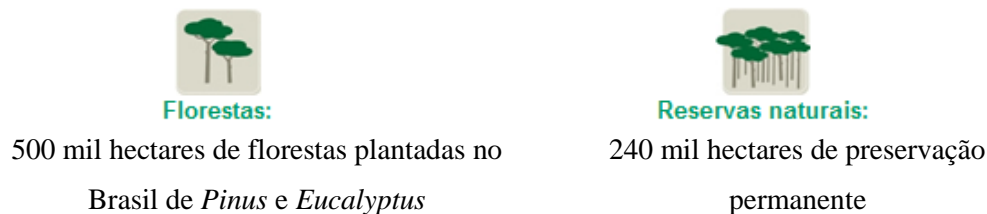
### 32- Estoque

Neste ponto uma equipe realiza a usinagem de Pisos (corte em régua e preparação dos encaixes das peças) e prepara os Acessórios para modelagem e revestimento das peças de MDP. O Piso segue para estoque e comercialização.

### 2.3 Produção florestal

As espécies de coníferas são as mais empregadas na produção de painéis aglomerados, devido à baixa densidade, rápido crescimento e disponibilidade em grande escala. (IWAKIRI, 2005; POLETO, 2013). No Brasil, como ilustra a Figura 3, as madeiras de florestas plantadas - principalmente dos gêneros *Pinus e Eucalyptus* - constituem a principal fonte de matéria prima (MATTOS et al., 2008).

Figura 3 - Características das florestas brasileiras



Fonte: ABIPA (2012).

As propriedades físicas da madeira mais importantes em termos de colagem são a densidade e o teor de umidade. A densidade está associada à densificação necessária na formação do painel, pois a razão de compactação (relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira) deve ser de no mínimo 1.3. A influência do teor de umidade da madeira está relacionada com a quantidade e o ritmo de absorção do adesivo líquido pela madeira (IWAKIRI, 2005).

Ainda segundo o autor, quanto aos requisitos químicos relevantes de uma espécie para fabricação de aglomerado, tem-se:

- **Acidez:** esta característica da madeira, medida em pH, tem influência sobre a cura da resina. Uma espécie de baixo pH pode acelerar o processo de cura e resultar no efeito denominado de “pré-cura” da resina durante a fase de compressão das partículas, comprometendo a qualidade de colagem do painel;
- **Extrativos:** incluem corantes, óleos essenciais, graxos, resinas, ceras, amido, gomas, substâncias nutrientes, taninos e outros polifenólicos. Dependendo da quantidade desses extrativos, podem ocorrer problemas quanto ao consumo e cura da resina, higroscopicidade e ocorrência de “bolhas” no painel durante a prensagem;
- **Materiais estranhos:** estão associados à madeira na forma de resíduos, como partículas metálicas introduzidas e substâncias minerais contidas na própria madeira, que podem causar descoloração e assim, afetar o acabamento do painel; desgaste e dano nos equipamentos; e perigo de fogo.

De acordo com Trianoski (2010), sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de madeiras alternativas ao *Pinus* e *Eucalyptus*, pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades dos painéis aglomerados, principalmente devido às diferentes características inerentes a cada espécie. Pode ainda, significar um incentivo a introdução destas espécies em grandes áreas de florestas plantadas, uma vez assegurada a qualidade e os requisitos do produto em questão.

#### 2.4 Utilização de resíduos de madeira

Segundo Mattos et al. (2008) e o Instituto Brasileiro de Qualidade e Produtividade - IBQP (2010), os resíduos empregados como matéria prima para produção de aglomerados são oriundos principalmente de:

- Indústria de madeira e moveleira;
- Resíduos da exploração florestal;
- Madeiras de qualidade inferior;
- Madeiras não industrializada de outras formas;
- Reciclagem de madeira sem serventia;

As indústrias de base florestal, no Brasil, geram um volume expressivo de resíduos, durante as fases operacionais, desde a exploração florestal, até o produto final (IWAKIRI et al., 2000). Apenas 35% de cada tora são transformados em produto serrado, os outros 65% são desperdiçados, transformando-se em resíduos não aproveitados pela indústria (FEITOSA, 2008). O desperdício por tronco das indústrias de beneficiamento da madeira fica por volta de 60%. Empresas chegam a ter um desperdício de 80% por tronco, valor exacerbado, considerando-se as atuais preocupações ambientais e aproveitamento econômico (CARNEIRO, 2006).

Nascimento et al. (2013) afirma que a indústria moveleira é uma das maiores responsáveis na geração de resíduos. As indústrias de madeira serrada, lâminas e compensados geram resíduos da ordem de  $19.255.000 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ , na forma de costaneiras, refilos, aparas, cascas, serragem, cepilhos ou maravalhas, entre outros, representando 50,7% do volume original de toras (BRITO, 1996).

O Instituto Brasileiro Qualidade e Produtividade- IBQP (2002) classifica os resíduos de madeira de acordo com suas características morfológicas:

- Pó: resíduos menores que 0,5 mm, gerado principalmente no processo de corte e lixamento da madeira;
- Serragem - partículas de madeira com dimensões entre 0,5 a 2,5 mm, oriundas do uso de serras, cortes e usinagem em peças planas;



- Maravalhas: partículas com mais de 2,5 mm, provenientes principalmente do uso de plainas, processo de cepilhar (limpar a madeira maciça bruta nas 4 faces) e furo da madeira para facilitar a colocação de parafusos;
- Cavacos ou chips - partículas com dimensões máximas de 50x20 mm, provenientes do uso de picadores e encaixes (cortes especiais ou curvos);
- Cepilhos: peças de madeira com diferentes tamanhos, várias faces planas e dimensão longitudinal mais de quatro vezes maior que as dimensões transversais;
- Costaneiras: partes resultantes do desdobro primário dos fustes sempre com apenas uma das faces longitudinais planas.

Iwakiri et al. (2000) afirma que uma parte substancial de resíduos provenientes de processamento mecânico da madeira é utilizada na geração de energia para fins industriais e domésticos. No entanto, apesar dos benefícios sociais, esta forma de utilização agrega muito pouco valor ao produto final, além do que propicia a geração de gases decorrentes da combustão da madeira, neste sentido, a produção de painéis de madeira aglomerada é uma forma alternativa de utilização viável dos resíduos. O aproveitamento de serragem proveniente de empresas moveleiras para produção de painéis de madeira aglomerada, seria uma opção promissora com intuito de se obter um produto de maior valor agregado. A Figura 4 ilustra os principais tipos de reaproveitamento de resíduos da madeira.

Figura 4 - Reaproveitamento de resíduos da madeira

USOS	RESÍDUOS	DESCRIÇÃO
ADUBO	Serragem em geral e madeira sólida picada	Usada <i>in natura</i> ou após etapas de compostagem para proteção do solo e como adubo. Inclui a cama de galinha usada.
CAMA DE GALINHA	Serragem em geral	Serragem macia para contato com animais. Após o uso, a serragem suja com estrume pode ser usada como adubo.
CARVÃO E COMBUSTÍVEIS	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos	Processos industriais para produção de carvão, álcool, metanol e gás combustível.
ENERGIA ELÉTRICA	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos Briquetes de serragem prensada	Usado como lenha em usinas termoeletricas para obtenção de energia elétrica. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera.
ENERGIA TÉRMICA	Pontas, tocos, sobras, rejeitos, costaneiras, cascas e galhos Briquetes de serragem prensada	Queima para obtenção de calor. Usado em fornos de padarias, pizzarias, olarias e em caldeiras industriais. Há o problema da emissão de poluentes na atmosfera.
EXTRAÇÃO DE ÓLEOS E RESINAS	Serragem em geral	Extração industrial de óleos e resinas para uso como combustível, resinas plásticas, colas e essências.
MADEIRA RECONSTITUÍDA	Serragem em geral	Na fabricação de chapas de madeira reconstituída.

Fonte: Teixeira (2005).

Segundo Costa et al. (2000), teoricamente é possível aproveitar a maior parte dos resíduos provenientes do processamento da madeira para produção de painéis aglomerados, entretanto, exige-se que seja um resíduo limpo, pois a presença de casca no resíduo diminui a qualidade da superfície dos painéis, assim como, suas propriedades físicas e mecânicas. Em consequência disso, a utilização dos resíduos para produção de painéis aglomerados possui suas restrições (VIGNOTE; JIMENEZ, 1996).

No Brasil, onde são utilizados cavacos de madeira provenientes de florestas plantadas como matéria prima, a qualidade do painel de madeira aglomerada é superior em relação aos países que utilizam

resíduos industriais, visto que, as plantas brasileiras têm maior controle sobre o tamanho, espessura e características mecânicas das partículas de madeira (ROQUE, 1998).

O reaproveitamento de resíduos de madeira proporciona um volume elevado de recursos secundários para a elaboração de novos materiais lignocelulósicos desenvolvidos e avançados, reforçando ainda mais as características ambientais da madeira, e vem de encontro com a busca das empresas pelos chamados “selos verdes” que, definindo-se de forma simplificada, atesta que os produtos e metodologias aplicados, apresentam o menor impacto ambiental possível (ESHUN et al., 2012).

## **2.5 Adesivos utilizados para produção de painéis**

Para produção de painéis de madeira, podem ser empregados adesivos naturais, adesivos sintéticos termoplásticos e adesivos sintéticos termoendurecedores/termofixos (IWAKIRI, 2005).

Os adesivos naturais podem ser de origem animal, vegetal, amido, éter celulósico e borracha natural. (IWAKIRI, 2005). Os polímeros do tipo termoplásticos são aqueles que amolecem e fluem quando submetidos a uma dada temperatura e pressão, podendo ser moldados. Uma vantagem desse tipo de material diz respeito à possibilidade de remoldagem quando da reaplicação de novas temperaturas e pressões, sendo portanto, recicláveis. (ISAIA, 2010).

Ainda segundo o autor, os polímeros termofixos são materiais que amolecem e fluem quando submetidos a uma dada temperatura e pressão, adquirindo a forma do molde com a formação de ligações cruzadas entre as cadeias e com subsequente solidificação. Novas aplicações de temperatura e pressão não exercem influência no material, tornando os materiais infusíveis, insolúveis e não recicláveis. Normalmente apresentam maior resistência ao calor que os materiais termoplásticos e são amorfos.

### 2.5.1 Ureia-formaldeído

A resina ureia-formaldeído, desenvolvida no início da década de 1930, possui ampla aplicação na indústria madeireira mundial. Em mais de 90% da fabricação de painéis de madeira utiliza-se este tipo de resina, por representar baixo custo em relação às outras existentes no mercado (IWAKIRI, 2005).

A ampla utilização destas resinas deve-se, principalmente, além do seu baixo custo, por ser de fácil manuseio, cura rápida e incolor (IWAKIRI, 2005); no entanto, são classificados como agentes de insalubridade máxima, devido à emissão do formol (CHIPANSKI, 2006). Estas resinas sintéticas são de fontes não renováveis e apresentam oscilação na disponibilidade e custo, pois dependem das matérias primas que as compõe, assim como, têm reciclagem limitada do produto final (GONZÁLEZ-GARCIA et al., 2011).

Lessmann (2008), afirma que há constantes pressões dos ambientalistas e dos usuários por painéis com baixas emissões de formol. Isso despertou o interesse pela química das resinas ureia-formaldeído, ao mesmo tempo, houve buscas de tecnologias e aprimoramento deste tipo de material.

### 2.5.2 Resina poliuretana à base de óleo de mamona

O surgimento das resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona foi motivado pela proposta de utilização de produtos biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa (ARAUJO, 1992).

Segundo Silva et al. (2013), as resinas poliuretanas (PUs) foram desenvolvidas por Otto Bayer em 1937. O primeiro adesivo bicomponente derivado do óleo de mamona ou óleo de rícino, conhecido internacionalmente como “*Castor Oil*”, foi desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo e é constituído do polioli (líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente) e um pré-polímero (polímero com polimerização incompleta)

que, ao serem misturados, originam uma poliuretana. Como esta reação ocorre por meio de mistura, pode-se variar a porcentagem dos mesmos, resultando em poliuretanas com maior ou menor rigidez e/ou maior ou menor flexibilidade (SILVA et al., 2013). Sendo um adesivo de cura a frio, que pode ser acelerada sob temperatura. (POLETO et al., 2013).

O emprego das resinas oriundas da mamona para a produção de chapas de partículas representa uma inovação tecnológica, pois como evidenciado em estudos de Jesus (2000), Campos (2005), Silva (2007), Dias (2008), Silva et al. (2013) e Blecha et al. (2013) esta resina confere resultados físicos e mecânicos satisfatórios nas chapas, além de características impermeabilizantes e a vantagem de não apresentar emissão de formaldeído.

O óleo de mamona é extraído da semente da planta *Ricinus communis*, da família *Euphorbiaceae*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil. O governo brasileiro incentiva alguns estados na produção de mamona, com projetos como Pró-Mamona, que visa sustentabilidade, competitividade e modernização tecnológica, oferecendo incentivos fiscais às indústrias interessadas. O programa já foi instituído nos estados do Mato Grosso, Minas Gerais, Paraíba, Bahia (maior produtor brasileiro de mamona), dentre outros (NASCIMENTO, 2013).

De acordo com o projeto Pró-Mamona, o plantio da mamona apresenta vantagens como: ciclo curto (entre 180 e 210 dias), custo de produção inferior ao custo de produção do milho; pode ser plantada em consórcio com outras culturas ou sozinha; o teor de óleo contido em cada planta é da ordem de 50%; requer pouco uso de produtos químicos; de fácil colheita (não é obrigatório o uso de máquinas) e resistente à seca.

Ainda de acordo com o projeto Pró-Mamona, além das vantagens fornecidas ao agricultor, estas plantas também propiciam as seguintes vantagens ao meio ambiente:

- Redução na emissão de CO<sub>2</sub>;
- Sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera;
- Redução de emissão de óxidos de enxofre e hidrocarbonetos;
- Reduzida emissão de materiais particulados na colheita (fuligem, fumaça preta).

O custo das resinas poliuretanas bicomponentes derivadas de óleo de mamona varia de acordo com o tipo do polioli e sua proporção na mistura com o pré-polímero, entretanto, ressalta-se que o pré-polímero representa 80% do custo da resina.

## 2.6 Classificação comercial dos produtos derivados de madeira

Os elementos de madeira se distinguem basicamente devido ao tipo e tamanho das partículas ou fibras, sua homogeneidade em termos de granulometria, processos de produção e devido às suas características, o que conferem desempenhos diferentes às chapas. (MARRA, 1992). Na Tabela 2 estão as classificações de acordo com as dimensões das partículas.

Tabela 2 - Classificações comercial dos produtos de madeira

ELEMENTO	COMPRIMENTO (Pol.)	LARGURA (Pol.)	ESPESSURA (Pol.)	PRODUTOS
MADEIRA MACIÇA	4,0 - 20 (ft)	4,0 - 12	0,5 - 2,0	VIGAS
LÂMINA	4,0 - 8,0 (ft)	4,0 - 48	0,02 - 0,5	COMPENSADOS / LVL
WAFER	1,0 - 3,0	1,0 - 3,0	0,025 - 0,05	WAFERBOARD
LASCAS (FLAKES)	0,5 - 3,0	0,5 - 3,0	0,010 - 0,025	FLAKEBOARD
STRANDS	0,5 - 4,0	0,25 - 1,0	0,010 - 0,025	OSB
SILVERS	0,25 - 3,0	0,005 - 0,025	0,005 - 0,025	SILVERBOARD
PARTÍCULAS	0,05 - 0,5	0,005 - 0,050	0,005 - 0,050	AGLOMERADO
FIBRAS	0,05 - 1,0	0,005 - 0,020	0,001 - 0,003	CHAPA DE FIBRAS
FIBRAS	0,04 - 0,25	0,001 - 0,003	0,001 - 0,003	PAPEL
CELULOSE/LIGNINA	DIMENSÕES MOLECULARES			PLÁSTICOS / FILMES

Sendo: ft = 30,48 cm e Pol = 2,54cm

Fonte: Marra (1992).

A NBR 14810 (ABNT, 2006) propõe terminologias, requisitos e métodos de ensaios para caracterização dos painéis de madeira aglomerada.

A Tabela 3 apresenta alguns parâmetros normativos de propriedades físicas e mecânicas para chapas confeccionadas com características próximas às realizadas neste estudo, observa-se que foram apresentados apenas valores adotados na discussão dos resultados do presente trabalho:

Tabela 3 - Parâmetros para painéis segundo NBR 14810:2006, Euro Norma e CS

NORMAS		Espessura (mm)	Propriedades											
			Densidade kg/m <sup>3</sup>	Teor de umidade %	Inchamento máximo %		Absorção Máxima %		MOR mínimo MPa	MOE mínimo MPa	Tração Perpendicular mínima MPa	Arrancamento de Parafuso N		
					2h	24h	2h	24h				Topo	Superf.	
NBR 14810:2006		8 - 13	Média 0,551< $\rho$ <0,750	5<TU<11	8%	-	-	-	-	18	-	0,4	-	-
EURO NORMA	317:1993	6 - 9	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-
		9 - 12	-	-	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-
	310:1993	6 - 9	-	-	-	-	-	-	-	-	2700	-	-	-
		9 - 12	-	-	-	-	-	-	-	-	2500	-	-	-
	319:1993	6 - 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,55	-	-
		9 - 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6	-	-
CS236-66:1968		-	Média 0,60< $\rho$ <0,80	-	-	35	-	-	-	11,2	-	-	-	-
		-	Alta $\rho$ >0,80	-	-	55	-	-	-	16,8	-	-	-	-

Os demais resultados dos ensaios de inchamento 24h, absorção 2h e 24h, arrancamento de parafuso (topo e superfície), MOE (Módulo de Elasticidade), neste estudo foram realizados comparado-se com documentos normativos nacionais, internacionais e em literatura de estudos existentes sobre o tema.

## 2.7 Considerações finais da revisão bibliográfica

Por meio do exposto na revisão bibliográfica, observou-se, o significativo acréscimo na demanda do painel de partículas e o conseqüente aumento do volume de sua produção. Este aumento se justifica pela expansão da indústria de móveis, de embalagens e de muitos segmentos da construção civil.

Paralelamente ao aumento de produção dos aglomerados, tem-se o problema sócio ambiental de destinação e crescente produção de resíduos das indústrias moveleiras e madeireiras, além da busca de resinas alternativas às usualmente utilizadas, que são agressivas ao meio ambiente.

Neste sentido, o trabalho em questão busca a produção de chapas de partículas empregando-se resíduos de empresas moveleiras com emprego de resina ureia-formaldeído e resina poliuretana à base de óleo de mamona, como alternativa à primeira.

Cabe destacar, também que ficou evidenciado o ineditismo do estudo desenvolvido, que envolve a utilização de resíduos contendo diversas espécies de madeira, ou seja, sem pré-seleção da espécie.

### **3 OBJETIVO**

Analisar a viabilidade de aproveitamento dos subprodutos de indústrias moveleiras da região de São José do Rio Preto - SP, provenientes de madeiras de Tauarí, Cupiúba, Garapa e Cambará, apenas com ajuste granulométrico, para produção de painéis aglomerados, por meio da avaliação físico-mecânica das chapas.

### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção estão apresentados os materiais e a metodologia empregados nos ensaios exploratórios, nos ensaios comprobatórios para a produção dos painéis de partículas, além de mencionados os ensaios e equipamentos aplicados para a caracterização físico-mecânica dos painéis.

Os estudos foram desenvolvidos nos laboratórios da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS-UNESP (ensaios físicos), na Faculdade de Engenharia de Bauru, FEB-UNESP (confeção das chapas e ensaio de flexão) e no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras - LaMEM, no campus I da USP de São Carlos (ensaios mecânicos de adesão interna e arrancamento de parafuso-topo e superfície).



## 4.1 Materiais e Equipamentos

- **Resíduo de serraria:** Foram coletados em empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto, que segundo informações dos fornecedores, são provenientes de madeiras de Tauarí (*Couratari guianensis*, *C. oblongifolia* e *C. stellata*), Cupiúba (*Goupia glabra*), Garapa (*Apuleia leiocarpa*) e Cambará (*Gochnatia polymorpha*).
  
- **Adesivos:**
  - Adesivo FASTBONBD 30-NF

É um adesivo de contato, à base d'água, de alto desempenho. Possui um alto teor de sólidos, boa resistência ao calor, entretanto o fabricante sugere que não seja ultrapassado 120°C, e não-inflamável no estado úmido. As características do adesivo, de acordo com fornecedor, estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do adesivo de contato à base de água

ADESIVO DE CONTATO	
Base	Policloropreno
Cor	Branco
Densidade	1,07 - 1,11 g/cm <sup>3</sup>
Sólidos (por peso)	47 - 51 %
Voláteis	Água e menos de 5% entre tolueno e metanol
Ponto de fulgor	Nenhum
Viscosidade	200 - 750 cps
Viscosímetro Brookfield	RVF #4sp. - 10 rpm - 27°C

Fonte: Dados do fornecedor 3M (2001).

- Resina ureia-formaldeído:

É um adesivo constituído de formol, apresenta baixa resistência à umidade, custo baixo em relação aos outros adesivos, cura-se à temperatura ambiente ou à temperatura alta (90 à 200°C), não resiste a

ambiente muito úmido e quente e sua vida útil no estado líquido é muito limitada, sendo no máximo 90 dias em temperatura ambiente, e se acondicionado à temperatura de 4 a 6°C, a vida útil passa de 6 meses a 8 meses.

As características da resina Cascamit BF - 8051 utilizada estão descritas na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades da resina ureia-formaldeído.

RESINA UREIA-FORMALDEIDO	
Aparência do produto	Líquido, branco leitoso
Teor de sólidos (0,5g/3h/105 <sup>0</sup> C) %	66 - 60
Viscosidade (Brookfield LVF, 2/30/25 <sup>0</sup> C) cP	200 - 300
pH (25 <sup>0</sup> C)	7,8 - 8,2
Densidade (25 <sup>0</sup> C) - g/cm <sup>3</sup>	1,275 - 1,298
Formol livre, % (após 24 h da produção)	Máximo 0,2
Tempo de Gel - (BWG) (*)	35 - 60 (segundos)

(\*) 5g da mistura: 100g de resina + 2g de Sulfato de Amônio PA

Fonte: Dados do fornecedor MOMENTIVE (2009).

➤ Resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona (PU Mamona):

A resina PU Mamona se constitui de um isocianato polifuncional denominado pré-polímero (polímero com polimerização incompleta) e um componente derivado do óleo vegetal de mamona, o polioli. As propriedades do polímero, tais como: flexibilidade, rigidez, força intercadeia e entrecruzamento molecular, são obtidas a partir do balanceamento dos componentes. Neste trabalho, foi utilizada a proporção 1:1 entre polioli e pré-polímero, tendo em vista, os excelentes resultados alcançados por pesquisadores usando esta proporção (SILVA et al., 2013; CHRISTOFORO et al., 2013; VARANDA, 2012). As descrições da resina estão apresentadas na Tabela 6.

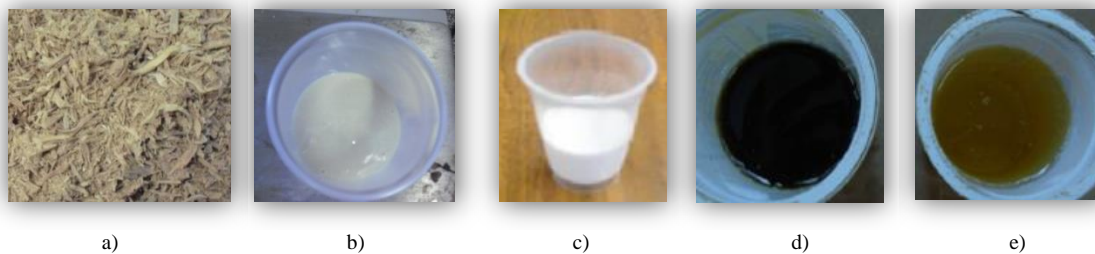
Tabela 6 - Características da resina poliuretana à base de mamona

POLIURETANA DE MAMONA		
Teor de sólidos	100%	
Densidade	componente derivado do óleo vegetal (poliol)	1,10 g/cm <sup>3</sup>
	isocianato polifuncional (pré-polímero)	1,24 g/cm <sup>3</sup>
Aparência	componente derivado do óleo vegetal (poliol)	líquido viscoso amarelado
	isocianato polifuncional (pré-polímero)	líquido marrom escuro

Fonte: Dados do fornecedor Plural (2009).

A Figura 5 ilustra alguns aspectos dos materiais utilizados.

Figura 5 - Materiais empregados para produção dos painéis: (a) Partículas de madeira; (b) Adesivo de contato (FASTBOND) utilizado nos ensaio exploratórios; (c) resina ureia-formaldeído; (d) e (e) Poliuretana bicomponente de óleo de mamona (pré-polímero e poliol), respectivamente



Fonte: o próprio autor

Os equipamentos utilizados para o desenvolvimento das atividades de pesquisa estão sumariamente descritos a seguir:

- **Macro moinho:** O moinho do tipo Willye modelo MA 680 é constituído de motor trifásico de 220V, rotor com as facas móveis para proteção do motor, funil para adição de material, câmara de moagem, facas de vanádio, telas com meshes diferenciadas, sapata para as telas, bandeja de coleta para limpeza, rampa de aço inox, protetor contra acidentes e relê de sobrecarga. O equipamento é ilustrado na Figura 6 e foi utilizado para preparo do resíduo objetivando adequá-lo a forma e granulometria para confecção dos painéis.

Figura 6 - Moinho do tipo Willye



Fonte: o próprio autor

- **Misturador de tambor:** constitui de um cilindro dotado de eixo giratório com palhetas que movimentam as partículas com a resina pré-adicionada manualmente. O equipamento proporciona uniformidade à mistura, conforme apresentado na Figura 7.

Figura 7 - Misturador de tambor



Fonte: o próprio autor

- **Formadora de colchão:** Conjunto constituído por uma fôrma quadrangular de madeira nas dimensões de 40x40x20cm e sua base, utilizado para propiciar uma pré-compactação às partículas com adesivo para formação do colchão de partículas. As

Figuras 8a e 8b ilustram as etapas desenvolvidas para preparação do colchão de partículas.

Figura 8 - Formadora de colchão de partículas: (a) forma quadrangular de madeira e (b) chapa metálica sendo revestida com filme de poliéster



(a)



(b)

Fonte: o próprio autor

- **Prensa:** Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão da empresa PHS Máquinas Hidráulicas LTDA, modelo PHH 80T, que foi utilizada para confecção dos painéis. A Figura 9 ilustra alguns aspectos da prensa para compactação dos painéis.

Figura 9 - Prensa hidráulica



Fonte: o próprio autor

Os equipamentos utilizados para caracterização mecânica das chapas estão sumariamente descritos a seguir:

- **Máquina Universal de Ensaios - EMIC**, modelo DL-3000 de capacidade máxima 300kN, do tipo bifuso autoportante, empregada no ensaio de flexão, ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Máquina universal de ensaios EMIC



Fonte: o próprio autor

- **Maquina Universal de Ensaios, AMSLER**, com capacidade de 250 kN, utilizada para os ensaios de tração perpendicular para determinação da adesão interna e arrancamento de parafuso (topo e superfície), a máquina está ilustrada na Figura 11.

Figura 11- Máquina Universal de Ensaios AMSLER



Fonte: o próprio autor

## 4.2 Determinação das propriedades das partículas

### 4.2.1 Teor de umidade

Após a preparação das partículas em moinho de facas, foi determinado o teor de umidade destas, submetendo-se amostras do material à estufa na temperatura de  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , até que fosse obtida massa constante na pesagem. O teor de umidade das partículas foi calculado pela Equação 1, como descreve o documento normativo da NBR 14810-3 (ABNT, 2006):

$$U = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots \text{Equação 1.}$$

Onde:

U é o teor de umidade das partículas (%);

$M_u$  é a massa úmida das partículas (g);

$M_s$  é a massa seca das partículas (g).

### 4.2.2 Análise granulométrica

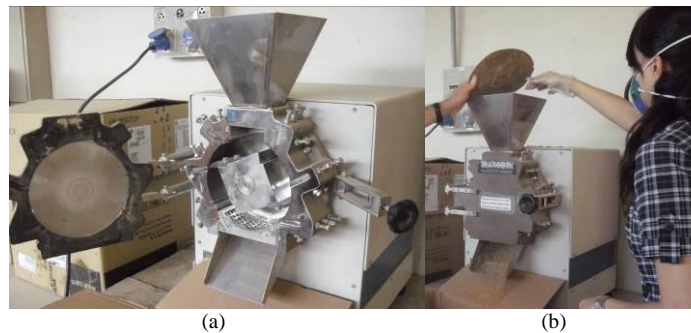
Ressalta-se que este ensaio se constituiu de uma adaptação do ensaio de granulometria da NBR NM 248 (ABNT, 2003) intitulado: “Agregados - Determinação da composição granulométrica”, para partículas de madeira ao invés de agregado graúdo e miúdo. A classificação das partículas de madeira foi realizada em amostras de 500g, de acordo com o documento normativo. Utilizando-se o equipamento SOLOTEST, com peneiras em ordem decrescente de abertura ajustando-se o nível de velocidade para o n<sup>o</sup> 5, em seguida a massa de partículas foi vibrada por 10 minutos. Os “finos” foram determinados pelas partículas que passaram na peneira de 0,075 mm.

### 4.3 Procedimentos para confecção dos painéis

Após coleta dos resíduos composto da mistura de quatro espécies de madeiras tropicais (Tauari, Cupiúba, Garapa e Cambará), verificou-se que seria necessário preparar o material coletado utilizando-se moinho de facas, para conferir forma e dimensões adequadas às partículas e, conseqüentemente, garantir maior homogeneidade aos painéis.

- **Processamento dos resíduos em moinho de facas:** o material foi submetido a processamento em moinho de facas para produção de partículas com dimensões variando entre 2 a 6 mm. A Figura 12 ilustra a seqüência para processamento das partículas.

Figura 12 - Processamento do resíduo para obtenção das partículas: (a) Detalhes do interior do moinho de facas ilustrando o eixo com as facas e (b) Ilustração do moinho de facas no momento da moagem



Fonte: o próprio autor (2013).

- **Adição e homogeneização de adesivo às partículas:** Conforme avaliação realizada para determinação do teor de umidade das partículas, verificou-se que as mesmas estavam com teor médio de umidade de 8,63%, isso se explica porque o material coletado é proveniente de empresas moveleiras, ou seja, com rigoroso controle de umidade para produção de móveis, não sendo necessário secagem em estufa. O cálculo para adição de 10% de adesivo foi realizado considerando-se a massa natural de partículas e determinado em função do volume necessário para confecção de painéis com dimensões de 40x40x1cm, conforme descrito a seguir:



- Cálculo do teor de adesivo:

Considerando-se que:  $D = \frac{M}{V}$  ..... Equação 2.

Sendo:

**D** a densidade nominal dos painéis igual a  $0,80 \text{ g/cm}^3$

**M** a massa de partículas a ser determinada para confecção dos painéis.

**V** o volume dos painéis definido em função da formadora de colchão com dimensões de  $40 \times 40 \times 1 \text{ cm}$ .

Aplicando a Equação 2 tem-se:

$0,80 = M/1600$        $M = 0,80 \times 1600$        $M = 1280\text{g}$ , e aproximando-se para  $1300\text{g}$  tem-se para 10% de resina massa equivalente a  $130\text{g}$ .

A Figura 13 ilustra a adição da resina e o processo de homogeneização manual e com auxílio da “encoladeira” de tambor.

Figura 13 - Adição e homogeneização do adesivo: (a) Adição do adesivo, (b) Homogeneização manual, (c) Homogeneização em “encoladeira”



(a)



(b)



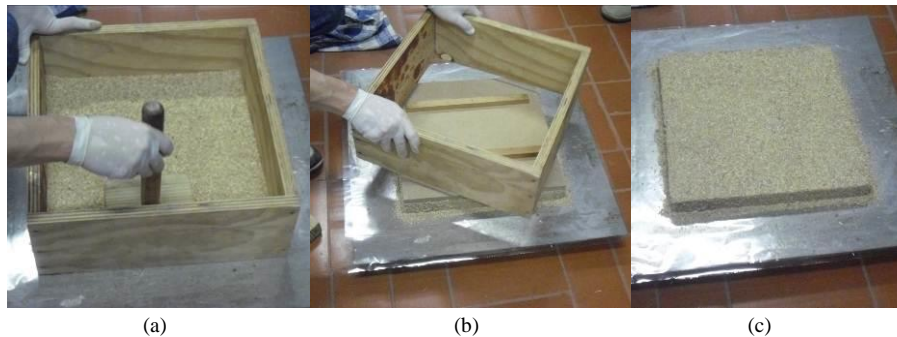
(c)

Fonte: o próprio autor (2013).

- **Preparação do colchão de partículas:** Após adição e homogeneização de adesivo às partículas, realizaram-se os procedimentos para preparação do colchão de partículas,

objetivando-se conferir à massa de partículas uma forma inicial que auxiliará no processo de compactação e confecção dos painéis aglomerados. Para preparação do colchão de partículas utilizou-se a formadora de colchão, conforme se observam a sequência ilustrada na Figura 14.

Figura 14 - Formação do colchão de partículas: (a) Deposição das partículas na formadora de colchão e pré-prensagem com aproximadamente  $0,43 \text{ Kgf/cm}^2$ , (b) Remoção da forma e (c) Colchão de partículas pronto para prensagem em prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão



Fonte: o próprio autor (2013).

- **Prensagem dos painéis:** O procedimento de prensagem (Figura 15) foi realizado considerando-se os seguintes parâmetros:
  - ✓ Força de prensagem de 80 toneladas, ou seja, para painéis com dimensões nominais de  $40 \times 40 \text{ cm}$ , tem-se área da superfície igual a  $1600 \text{ cm}^2$ , conseqüentemente, a pressão de prensagem foi de 50 MPa.
  - ✓ Temperatura de prensagem de  $110^{\circ}\text{C}$  para painéis confeccionados com PU Mamona e  $130^{\circ}\text{C}$  para painéis confeccionados com UF.
  - ✓ Tempo inicial de prensagem de 3 minutos, alívio de pressão por 30 segundos, objetivando-se a eliminação de gases para evitar a formação de bolhas nos painéis e 7 minutos finais de pressão de prensagem, totalizando tempo de prensagem de 10 minutos. Este procedimento foi empregado para confecção de todas as chapas.

Figura 15 - Prensagem dos painéis. (a) Equipamento no momento de aplicação da pressão e (b) Momento de alívio de pressão



Fonte: o próprio autor (2013).

#### 4.4 Estudos preliminares

Foram realizados ensaios preliminares para definição de parâmetros a ser adotado na produção dos painéis, tais como, tipos de adesivo e emprego de limitador de espessura. Para esta análise, foram determinadas propriedades físicas de densidade, umidade, absorção 2h e 24h e inchamento 2h e 24h dos painéis de acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2006). Os procedimentos para confecção dos painéis estão descrito no item 4.3 e os parâmetros adotados foram:

- Pressão de prensagem: 35,91kgf/cm<sup>2</sup><sup>(1)</sup>
- Temperatura: 110°C e 130°C
- Teor de Adesivo: 10% em relação à massa de partículas
- Dimensões do painel: 40x40 mm com espessura de aproximadamente 10 mm
- Uso de limitadores de espessura<sup>(2)</sup>
- Densidade nominal: 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Ressalta-se que a pressão utilizada já estava pré-estabelecida na prensa e não foi alterada, pois, considerou-se que para os estudos exploratórios seria um parâmetro a ser avaliado.

<sup>2</sup> No laboratório onde foram confeccionados os painéis usa-se limitadores de espessura para produção dos painéis, objetivando-se manter espessura pré-estabelecida, conseqüentemente, considerou-se avaliar este procedimento na preparação dos painéis nos estudos exploratórios.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros utilizados para confecção dos painéis.

Tabela 7 - Tratamentos empregados para confecção dos painéis dos estudos exploratórios

Tratamento	Tipo de adesivo	Limitador
1	Ureia-formaldeído (UF)	Sem
2	Ureia-formaldeído (UF)	Com
3	Adesivo à base d'água (FB)	Sem
4	Adesivo à base d'água (FB)	Com

#### 4.5 Confecção e avaliação de novos painéis considerando-se os ajustes nos parâmetros

A partir dos resultados obtidos com os estudos exploratórios, foram confeccionados novos painéis considerando-se os parâmetros ilustrados na Tabela 8 .

Tabela 8 - Parâmetros para confecção dos novos painéis

Característica	Quantidade
Teor de umidade das partículas	8%
Tipos de Adesivo	Ureia formaldeído e resina poliuretana à base de mamona
Teor do adesivo	10% (em relação à massa seca das partículas)
Pressão de prensagem	50 Kgf/cm <sup>2</sup>
Temperatura de prensagem	110°C e 130 <sup>0</sup> C
Tempo de prensagem	10 min

Para caracterização dos novos painéis foram realizados os seguintes ensaios:

##### 4.5.1 Determinação da densidade

Para ensaio de densidade, separaram-se os corpos de prova nas dimensões estabelecidas pela NBR14810 (ABNT, 2006) (comprimento: 50 mm e largura: 50 mm) e realizou-se o ensaio conforme

procedimentos da referida norma, e ilustrado na Figura 16, utilizando-se para os cálculos da **densidade** a equação 3:

$$D = \frac{m}{v} \times 1000\ 000 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Sendo:

$$v = l \times c \times e$$

Onde:

**D** - é a densidade do corpo de prova, em quilogramas por metro cúbico;

**m** - é a massa do corpo de prova, em gramas;

**v** - é o volume do corpo de prova, em milímetros cúbicos;

**l** - é a largura do corpo de prova, em milímetros;

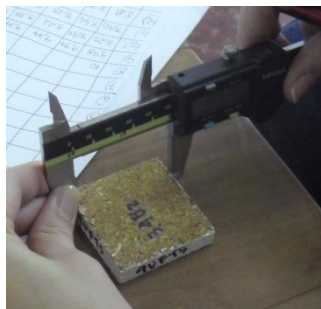
**c** - é o comprimento do corpo de prova, em milímetros;

**e** - é a espessura do corpo de prova, em milímetros.

*Obs. Para fins práticos, o peso determinado em balança é considerado massa.*

O resultado considerado foi a média das densidades dos corpos de prova ensaiados.

Figura 16 - Ensaio para determinação da densidade: (a) Medição do corpo de prova para determinação do volume e (b) Determinação da massa



a)



b)

Fonte: o próprio autor (2013).

### 4.5.2 Determinação do inchamento e absorção

Os corpos de prova foram cortados nas dimensões exigidas para o ensaio (25 mm x 25 mm) e realizou-se o ensaio conforme orientações normativas, ilustrado na Figura 17, e utilizou-se a equação 4 para os cálculos do **inchamento**:

$$I = \frac{e_1 - e_0}{e_0} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 4}$$

Onde:

**I** - é o inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem;

**e<sub>1</sub>** - é a espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros;

**e<sub>0</sub>** - é a espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros.

Para o cálculo de absorção de água, utilizou-se a seguinte equação:

$$A = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \dots\dots\dots \text{Equação 5}$$

Onde:

**A** - é a absorção de água, em porcentagem;

**m<sub>1</sub>** - é a massa do corpo de prova após imersão, em gramas;

**m<sub>0</sub>** - é a massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas.

Figura 17 - Ilustrações do ensaio de inchamento e absorção (a) Corpo de prova esquadrejado (25mmx25mm); (b) Grelha em aço inox para manter o corpo de prova submerso; (c) Nível de água com cerca de 25 mm acima da superfície da amostra; (d) Remoção do excesso de água nos cps; (e) Pesagem; e (f) Medição da espessura com paquímetro



Fonte: o próprio autor.

### 4.5.3 Determinação da umidade

A determinação da umidade foi realizada conforme descrito na NBR14810-3 (ABNT, 2006).

Para o cálculo da porcentagem do **teor de umidade**, utilizou-se a equação 6:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \dots \dots \dots \text{Equação 6}$$

Onde:

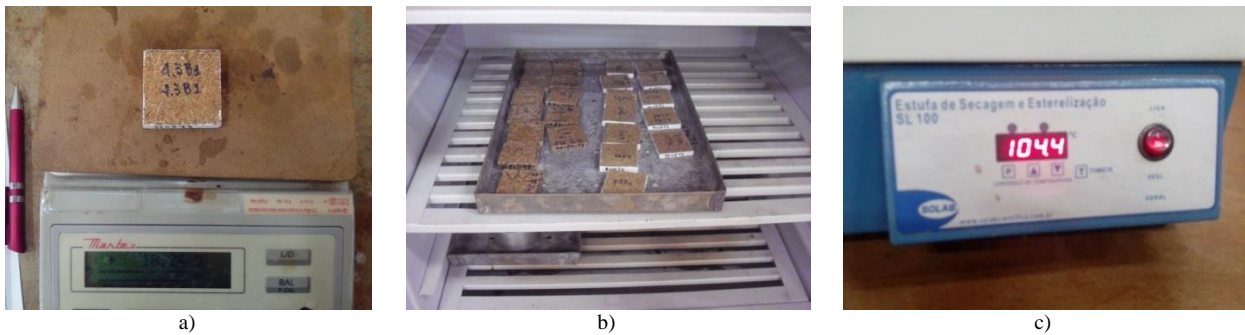
**U** - é a umidade residual do corpo de prova, em porcentagem;

**m<sub>u</sub>** - é a massa úmida do corpo de prova, em gramas;

**m<sub>s</sub>** - é a massa seca do corpo de prova, em gramas.

A Figura 18 ilustra algumas etapas para realização do ensaio para determinação da umidade e os equipamentos utilizados.

Figura 18 - Ilustrações das etapas para realização do ensaio para determinação da umidade: (a) Pesagem das amostras antes e após 4h de estufa; (b) Interior da estufa e (c) Dispositivo para regulagem da temperatura dentro do intervalo estabelecido pela NBR 14810 (ANBT, 2006 ( $103 \pm 2^\circ\text{C}$ ))



Fonte: o próprio autor (2013).

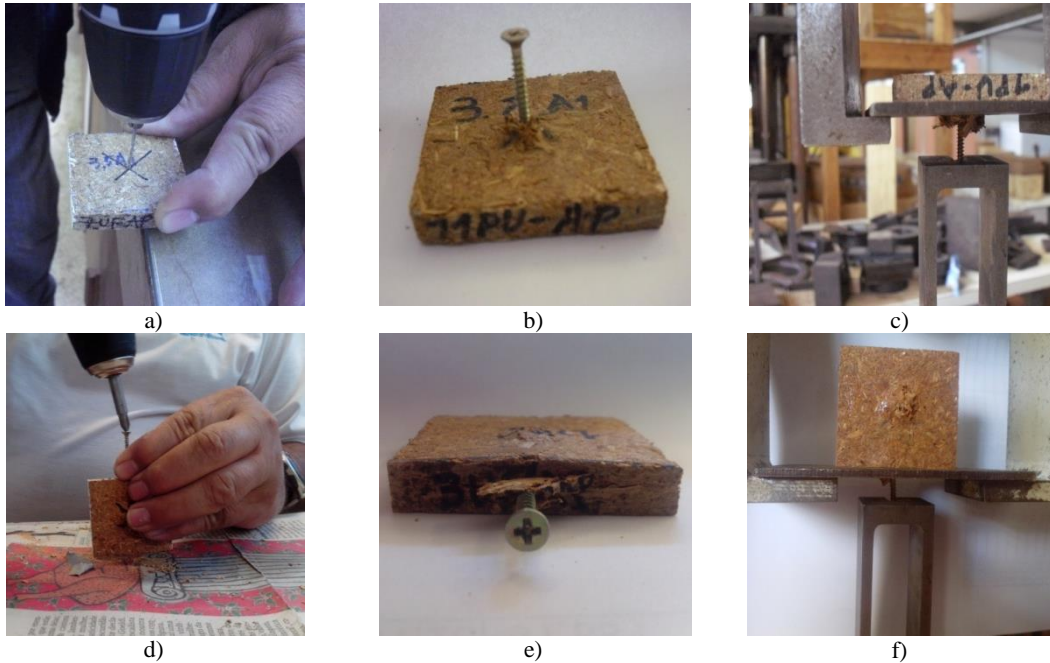
#### 4.5.4 Resistência ao arrancamento de parafuso

De acordo com a NBR14810-2 (ABNT, 2006), não se aplica a realização destes ensaios para painéis com espessura inferiores a 14mm, entretanto, considerou-se a realização destes ensaios de acordo com os procedimentos descritos na referida norma com o objetivo de se realizar uma análise comparativa com os valores propostos pela referida norma.

Os corpos de prova foram perfurados com parafusadeira Bosch, modelo GSR 10,8-2-LI Professional. Os ensaios de **arrancamento de parafuso de topo e superfície** foram realizados na máquina universal de ensaios e a força para arrancar dos foram expressas em Newtons (N). Os ensaios estão ilustrados na Figura 19.



Figura 19 - Ilustração das etapas para realização dos ensaios de arrancamento de parafuso - FACE e TOPO: (a), (b) e (c) furação, fixação na face do cp e arrancamento de parafuso; (d), (e) e (f) furação, fixação no topo do cp e arrancamento de parafuso, respectivamente



Fonte: o próprio autor (2013).

#### 4.5.5 Flexão e módulo de elasticidade

O ensaio de flexão estática foi realizado em corpos de prova nas dimensões 250 x 50 mm de acordo com a NBR 14810-3 (ABNT, 2006) na máquina universal de ensaios, a Figura 20 o ensaio no momento de sua realização. Foram determinados o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

Para o cálculo da resistência à flexão (**MOR**) do corpo de prova, utilizou-se a Equação 7:

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \dots\dots\dots \text{Equação 7}$$

Onde:

**MOR** - é o módulo de ruptura, em Megapascals;

**P** - é a força de ruptura lida no indicador de cargas, em Newtons;

**D** - é a distância entre apoios do aparelho, em milímetros;

**B** - é a largura do corpo de prova, em milímetros;

**E** - é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

Para determinação do módulo de elasticidade foi utilizada a seguinte equação:

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \dots\dots\dots \text{Equação 8}$$

Onde:

**MOE** - é o módulo de elasticidade, em Megapascals;

**P1** - é a força no limite proporcional lida no indicador de cargas, em Newtons;

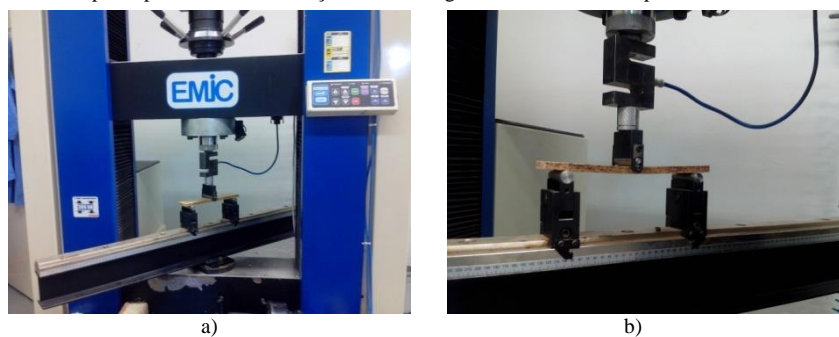
**D** - é a distância entre os apoios do aparelho, em milímetros;

**d** - é a deflexão, em milímetros, correspondente à carga P1;

**B** - é a largura do corpo de prova, em milímetros;

**E** - é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros.

Figura 20 - Ilustração de etapas do ensaio de flexão (a) execução do ensaio para determinação do MOR e MOE e (b) Detalhe ilustrando o corpo de prova submetido a ação de uma carga centralizada e dois apoios fixos nas extremidades



Fonte: o próprio autor (2013).

### 4.5.6 Tração perpendicular ou Adesão Interna

Os corpos de prova foram preparados de acordo com a norma NBR 14810-3 (ABNT, 2006) nas dimensões 50 x 50 mm.

A adesão interna foi determinada de acordo com a Equação 9:

$$TP = \frac{P}{S} \dots\dots\dots \text{Equação 9}$$

Onde:

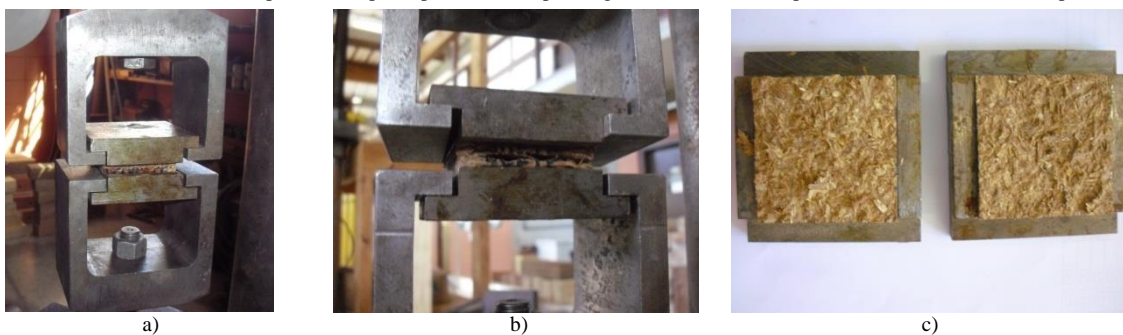
TP é a resistência à tração perpendicular (MPa);

P é a força na ruptura (N);

S é a área da superfície do corpo de prova (mm<sup>2</sup>)

Verificam-se na Figura 21 ilustrações dos momentos de realização dos ensaios para determinação da resistência à Tração Perpendicular. Ressalta-se que os corpos de prova foram fixados nos suportes metálicos utilizando-se “cola epóxi Araldite” de acordo com as instruções do fabricante.

Figura 21 - Ilustrações das etapas para realização do ensaio de adesão interna (a) Corpo de prova e suportes metálicos preparados para realização do ensaio; (b) Momento da ruptura do corpo de prova e (c) Aspectos gerais ilustrando os suportes metálicos e a linha de ruptura do corpo de prova



Fonte: o próprio autor (2013).

## 4.6 Análise estatística

Para avaliação do fator tipo de resina (PU Mamona e UF) nas propriedades físicas e mecânicas de interesse foi realizada análise de variância (ANOVA) de Kruskal-Wallis (não paramétrica) e teste de comparações múltiplas entre postos de Student-Newman-Keuls. A análise foi desenvolvida com o auxílio do software BioEstat® versão 5.0 e considerou-se nível de significância ( $\alpha$ ) para análise de variância de 5% e a hipótese nula ( $H_0$ ) formulada consistiu na equivalência entre as médias dos dois tratamentos, implicando na não equivalência para a hipótese alternativa ( $H_1$ ); onde, P-valor do teste de Kruskal-Wallis inferior ao nível de significância implica em rejeitar  $H_0$ , aceitando-a em caso contrário.

## 5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo contém os resultados obtidos ao longo do trabalho, referente aos estudos preliminares e aos estudos com ajustes dos parâmetros para confecção dos painéis. Os valores obtidos foram comparados com os requisitos estabelecidos nas normas NBR 14810 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- ABNT, 2006), EN 317, EN 310, EN 319, EN 323 (EURO NORMA, 1993) e literaturas sobre o assunto.

### 5.1 Caracterização das partículas

#### 5.1.1 Análise granulométrica

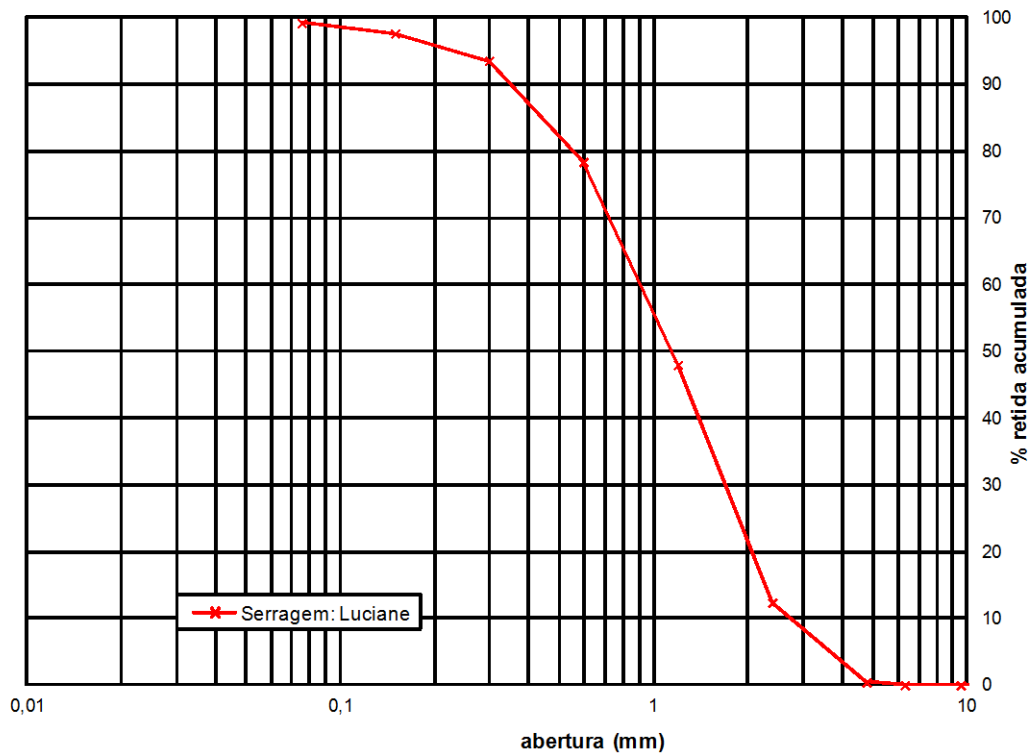
A análise granulométrica foi realizada em uma amostra de 503,16 gramas de partículas com o objetivo de avaliar as proporções, entre partículas, utilizadas para confecção dos painéis. A Figura 22 ilustra os resultados e o gráfico obtido a partir dos dados

Figura 22 - Análise granulométrica as partículas

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1		0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19		0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7		0,00		0,00	100,00
3/8"	-	9,51		0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	2,12	0,42	0,42		99,58
N.º 8	-	2,38	60,01	11,93	12,35		87,65
N.º 16	-	1,19	179,39	35,65	48,00		52,00
N.º 30	-	0,595	152,85	30,38	78,38		21,62
N.º 50	-	0,297	76,13	15,13	93,51		6,49
N.º 100	-	0,149	20,69	4,11	97,62		2,38
fundo	-	0,075	7,90	1,57		99,19	
Total			503,16	99	3,30		

Peneiras (mm) →	% Retida Acumulada											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
Areia	99,19	97,62	93,51	78,38	48,00	12,35	0,42	0,00	0,00	0		



De acordo com a literatura existente sobre dimensões de partículas para produções de painéis aglomerados, verifica-se que a faixa adequada encontra-se entre 2 a 6mm e, conforme evidencia-se nos resultados dos ensaios para determinação da granulometria, essa faixa pode ser observada retida na peneira de número 16, que propiciou a retenção de partículas das peneiras de número 4 e 8, totalizando uma massa de 179,39g equivalente a 35,65% da massa total ensaiada de partículas.

Comparando-se o percentual retido (35,65%) na faixa adequada para confecção de painéis aglomerados com o restante (64,35%), que se apresenta com partículas na faixa de 1 a 0,08mm, pode-se inferir que há necessidade de se aumentar a porcentagem de partículas na faixa entre 2 a 6mm, objetivando-se obter um material mais homogêneo.

Entretanto, segundo estudos desenvolvidos por Weber (2011), verificou-se que foram produzidos painéis com partículas de tamanhos majoritariamente na faixa entre 0,84 e 2,00 mm obtido-se desempenho físico-mecânico satisfatório. Pinheiro e Brito (2000), em estudos comparando-se duas composições de chapas, de diferentes distribuições granulométricas, sendo uma de 4,37 mm a 0,61 mm e outra de 2,00 mm a 0,61 mm, constataram que as chapas com partículas nesta última faixa apresentaram propriedades mecânicas (flexão e tração) superiores.

### 5.1.2 Teor de umidade

Os resultados obtidos para o teor de umidade das partículas são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Teor de umidade das partículas

AMOSTRA	MASSA ÚMIDA (g)	MASSA SECA (g)	UMIDADE (%)
1	41,14	37,62	9,36
2	31,82	29,49	7,90
<b>Média</b>			<b>8,63</b>
DP			1,03
Cv (%)			11,93

Foram coletadas e ensaiadas 3 amostras, entretanto, a terceira apresentou valor de umidade de 15,72%, sendo descartada devido ao desvio das demais. Possivelmente houve alguma falha na execução do ensaio da amostra descartada ou homogeneização do material.

O teor de umidade ideal na fabricação dos painéis deve situar-se na faixa de 3 a 6% para resina ureia formaldeído (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974) e na faixa de 8 a 10% para resina poliuretana à base de mamona (BERTOLINI, 2011).

## **5.2 Propriedades físicas e mecânicas de painéis confeccionados nos estudos preliminares**

Os resultados dos ensaios preliminares utilizando o adesivo FASTBOND, não atenderam aos requisitos normativos da NBR 14810 (ABNT, 2006), pois, as partículas não apresentaram coesão adequada para que os painéis fossem submetidos a ensaio mecânicos. Entretanto, em substituição, utilizou-se a resina poliuretana à base de mamona (PU Mamona), que tem sido utilizada em estudos conforme verifica-se na literatura sobre a produção de derivados de madeira.

Com relação ao adesivo FASTBOND há necessidade de realização de novos ensaios para possibilitar maior conhecimento sobre as características deste adesivo, ou seja, variar níveis de temperatura, densidade nominal, tempo de homogeneização do adesivo às partículas etc.

Quanto ao limitador de espessura, optou-se por não empregá-lo na confecção dos painéis com ajustes nos parâmetros e definiu-se um acréscimo na pressão de compactação para os painéis deste estudo, passando-se de 35,91 para 50 Kgf/cm<sup>2</sup>, a densidade nominal de 0,75g/cm<sup>3</sup> para 0,80g/cm<sup>3</sup> e mantendo-se a temperatura de prensagem de 130°C para painéis confeccionados com UF e de 110°C para painéis confeccionados com resina PU.

Ressalta-se que, apesar da falta de coesão adequada dos painéis confeccionados com resina FASTBOND para realização de ensaios mecânicos, foram realizadas avaliações de suas propriedades físicas objetivando-se uma análise dos procedimentos empregados para confecção dos painéis. Nas Tabelas de 10 a 12 estão apresentados os valores médios ( $\bar{x}$ ) e os coeficientes de variação ( $Cv$ ) das propriedades físicas investigadas para cada um dos três tratamentos estipulados nos estudos exploratórios.

Tabela 10 - Avaliação das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina ureia-formaldeído sem uso do limitador de espessura (T1)

<b>Estatísticas</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	0.74	5.40
$Cv(\%)$	5	10
<b>Estatísticas</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	16.19	16.24
$Cv(\%)$	13	11
<b>Estatísticas</b>	<b>AA-2h (%)</b>	<b>AA-24h (%)</b>
$\bar{x}$	68.27	64.19
$Cv(\%)$	6	8

Tabela 11 - Análise das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina ureia-formaldeído com uso do limitador de espessura (T2)

<b>Estatísticas</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	0.71	5.74
$Cv(\%)$	6	8
<b>Estatísticas</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	18.29	20.27
$Cv(\%)$	10	10
<b>Estatísticas</b>	<b>AA-2h (%)</b>	<b>AA-24h (%)</b>
$\bar{x}$	66.01	74.35
$Cv(\%)$	6	4

Tabela 12 - Análise das propriedades físicas dos painéis fabricados com resina FASTBOND sem uso do limitador de espessura (T3)

<b>Estatísticas</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	1.03	4.32
$Cv(\%)$	7	11
<b>Estatísticas</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	60.00	64.28
$Cv(\%)$	17	18
<b>Estatísticas</b>	<b>AA-2h (%)</b>	<b>AA-24h (%)</b>
$\bar{x}$	83.15	90.81
$Cv(\%)$	13	11



De acordo com a NBR 14810 (ABNT, 2006) os painéis aglomerados de média densidade são classificados no intervalo de 0,551 a 0,750 g/cm<sup>3</sup>, conseqüentemente, os painéis confeccionados com resina ureia-formaldeído alcançaram densidades aparentes médias de 0,710 e 0,740 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, podendo ser considerados de média densidade e os confeccionados com adesivo FASTBOND, com densidade aparente média de 1,03 g/cm<sup>3</sup>, podem ser considerados de alta densidade. Os resultados médios obtidos no ensaio de inchamento após 2h em todas as amostras foram acima do estabelecido como parâmetro (8%) pela NBR 14810 (ABNT, 2006). Entretanto, vale ressaltar que os parâmetros normativos são para confecção de painéis industriais empregando-se resina ureia-formaldeído em partículas de pinus ou eucalipto com adição de 1% de parafina.

Os valores médios de inchamento após 24h (I-24), absorção de água 2h (AA-2h) e 24h (AA-24h) variaram respectivamente de 16,24 a 64,28%; de 66,01 a 83,15% e de 64,19 a 90,81%. A NBR 14810 (ABNT, 2006) não especifica valores para estes ensaios, contudo, no estudo de Iwakiri et al. (2000) com resíduos de serrarias, os valores médios de inchamento 24h, absorção de água para 2 e 24 h de imersão em água, variaram respectivamente de 23,51 a 38,81%; de 13,94 a 41,74% e de 37,37 a 58,80%. Na pesquisa realizada por Iwakiri et al. (1996), para painéis de madeira aglomerada de pinus e bracinga e mistura destas espécies, os valores médios obtidos foram na faixa de 23,87 a 53,41% para I-24h; 41,31 a 98,96% para AA-2 h e de 60,98 a 106,65% para AA 24 h. Portanto, o comportamento dos materiais utilizados nesta pesquisa foi satisfatório em comparação a outro estudo com mistura de espécies.

O teor de umidade médio obtido para os painéis confeccionados com resina ureia-formaldeído foi de 5,57%, valor este, dentro da faixa recomendada pela NBR 14810 (ABNT, 2006) de 5% a 11%. O painel com adesivo FASTBOND apresentou 4,32% de teor de umidade, portanto, ligeiramente abaixo do teor indicado pela norma.

A Tabela 13 apresenta os resultados ANOVA referente à influência do limitador de espessura nas propriedades físicas dos painéis confeccionados empregando-se resina ureia-formaldeído.

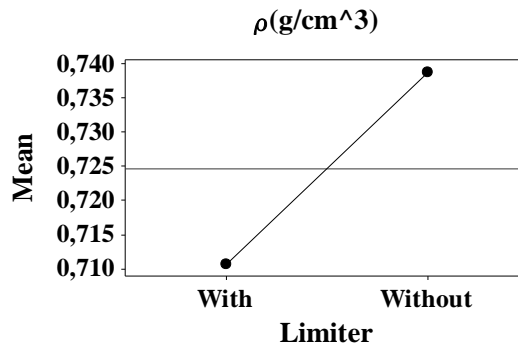
Os P-valores sublinhados são considerados significativos e GL denota o grau de liberdade da análise de variância.

Tabela 13 - Resultados da ANOVA para a influência do uso do limitador de espessura nas físicas dos painéis confeccionados empregando-se resina ureia-formaldeído

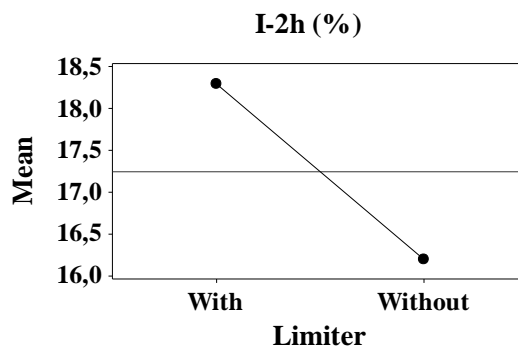
<b>Resposta</b>	<b>GL</b>	<b>P-valor</b>
$\rho$	31	<u>0,040</u>
TU	31	0,070
I-2h	31	<u>0,004</u>
I-24h	31	<u>0,000</u>
A-2h	31	0,114
A-24h	31	<u>0,000</u>

A Figura 23 ilustra os gráficos de efeitos principais da ANOVA para as respostas influenciadas significativamente pela inclusão ou não do limitador.

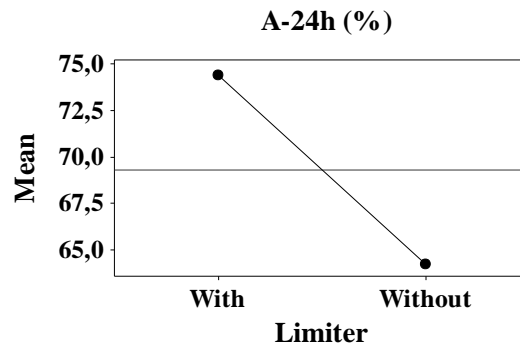
Figura 23 - Gráficos de efeitos principais da ANOVA para o fator uso do limitador (a) densidade, (b) inchamento 2h e (c) absorção 24h



(a)



(b)



(c)

Os resultados da Tabela 13 revelaram que o uso do limitador foi significativo para a densidade, inchamento em espessura após 2 horas e absorção de água após 24 horas, fornecendo resultados equivalentes (com ou sem o limitador) para as três demais propriedades físicas de interesse. O uso do limitador foi responsável por diminuir a densidade dos painéis em 4% e por aumentar em 12% e 14% o inchamento em espessura em duas horas e a absorção de água após 24 horas, respectivamente, quando comparado com os resultados dos painéis fabricados sem o limitador.

A Tabela 14 apresenta os resultados da ANOVA referente à influência nas propriedades físicas dos painéis fabricados pela escolha do tratamento juntamente com os resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variâncias. Assim como feito na Tabela 13, os P-valores considerados significativos pela análise de variância da Tabela 14 também estão sublinhados. Pelos P-valores obtidos em todas as respostas serem superiores ao nível de significância estipulado, fica constatada a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias entre os tratamentos, validando o modelo da ANOVA.

Tabela 14- Resultados da ANOVA para a influência do uso do limitador

	<b>P-valor (A.-Darling)</b>	<b>P-valor (Bartlett)</b>	<b>GL</b>	<b>P-valor</b>
$\rho$	0,178	0,083	47	<u>0,000</u>
TU	0,601	0,860	47	<u>0,000</u>
I-2h	0,093	0,078	47	<u>0,000</u>
I-24h	0,236	0,372	47	<u>0,000</u>
A-2h	0,156	0,249	47	<u>0,000</u>
A-24h	0,328	0,592	47	<u>0,000</u>

A Tabela 15 apresenta os resultados do teste de Tukey para as propriedades físicas consideradas significativas pela ANOVA. Letras iguais implicam em tratamentos com médias equivalentes.

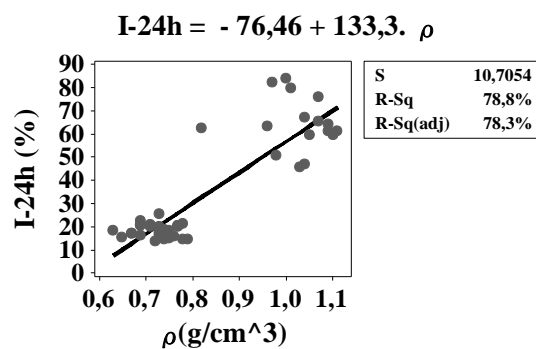
Tabela 15 - Resultados do teste de Tukey para o melhor tratamento por resposta

Tratamentos	Agrupamentos		
	T1	T2	T3
$\rho$	B	B	A
TU	A	A	B
I-2h	B	B	A
I-24h	B	B	A
A-2h	B	B	A
A-24h	C	B	A

Os painéis apresentaram comportamentos variados. Os maiores valores da densidade e os menores valores do teor de umidade foram provenientes dos painéis confeccionados com o adesivo FASTBOND (T3). Para o inchamento em espessura após 2 e 24 horas e para a absorção de água após 2 horas, os menores valores foram provenientes dos painéis confeccionados com o adesivo ureia-formaldeído (T1 ou T2), e para a absorção de água após 24 horas, os painéis confeccionados com ureia-formaldeído e sem o limitador (T1) apresentaram os melhores resultados.

As Figuras 24 e 25 ilustram os resultados dos modelos de regressão do inchamento em espessura após 24h e da absorção de água após 24h em função da densidade, respectivamente.

Figura 24 - Resultados dos modelos de regressão linear (a), quadrático (b) e cúbico (c) do inchamento em espessura após 24h em função da densidade



(a)

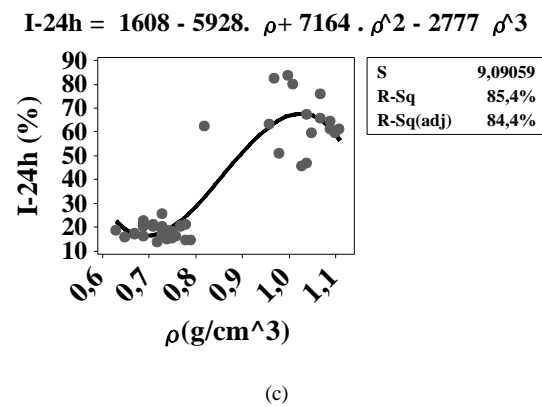
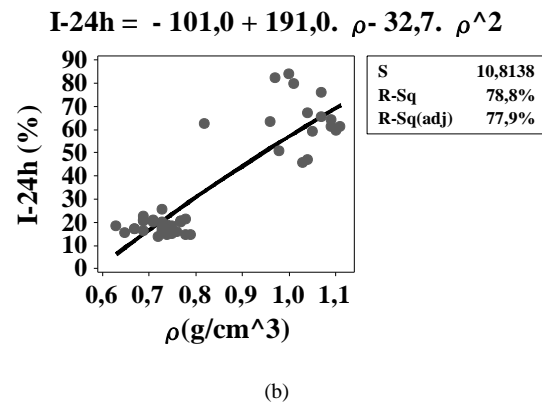
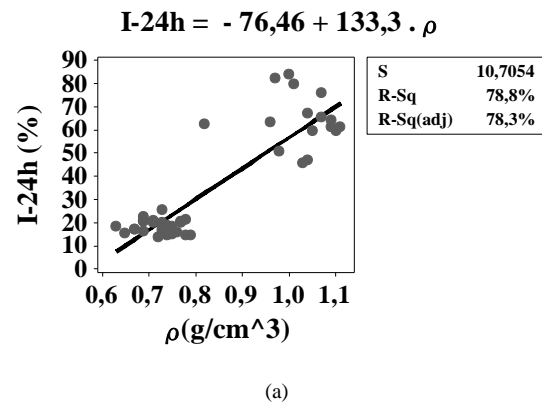
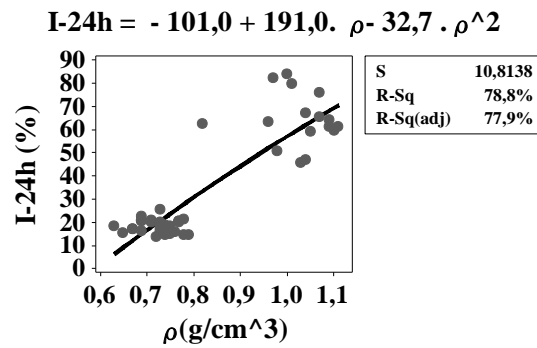
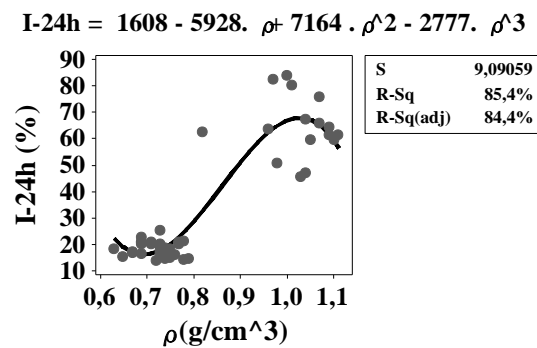


Figura 25 - Resultados dos modelos de regressão linear (a), quadrático (b) e cúbico (c) da absorção de água após 24h em função da densidade





(b)



(c)

Os coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$  ajustado) para as duas relações e para os três modelos de regressão investigados foram todos superiores a 70%, implicando nas boas aproximações obtidas. Dentre os ajustes obtidos, o polinômio de grau três apresentou os melhores resultados, em virtude de apresentarem os maiores valores do  $R^2$  ajustado juntamente com os menores valores do coeficiente de variação da ANOVA do modelo de regressão [18; 26%], implicando ser possível estimar o inchamento e a absorção de água após 24 horas dos painéis fabricados com o conhecimento da densidade por meio das Equações constantes nas Figuras 24 e 25, respectivamente.

Considerando-se os resultados obtidos com os estudos preliminares propuseram-se ajustes nos parâmetros para confecção de novos painéis conforme apresentado na Tabela 8 (página 43).

Tabela 8 - Parâmetros para confecção dos novos painéis<sup>2</sup>

<b>Característica</b>	<b>Quantidade</b>
Teor de umidade das partículas	8%
Tipos de Adesivo	Ureia formaldeído e resina poliuretana à base de mamona
Teor do adesivo	10% (em relação à massa seca das partículas)
Pressão de prensagem	50 Kgf/cm <sup>2</sup>
Temperatura de prensagem	110°C e 130°C
Tempo de prensagem	10 min

### 5.3 Propriedades físicas e mecânicas de painéis com ajustes nos parâmetros de confecção

#### 5.3.1 Propriedades físicas

A Tabela 16 apresenta os valores médios da densidade, teor de umidade, inchamento após 2h e 24h e absorção após 2h e 24h, de painéis confeccionados com UF e a Tabela 17 os painéis confeccionados empregando-se resina PU Mamona.

Tabela 16 - Propriedades físicas dos painéis confeccionados com resina ureia formaldeído

<b>UREIA FORMALDEÍDO</b>	<b>Estatísticas</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
	$\bar{x}$	0,84	6,16
	DP (%)	0,02	0,48
	Cv(%)	2,76	7,73
	<b>Estatísticas</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
	$\bar{x}$	23,65	28,33
	DP (%)	1,13	1,72
	Cv(%)	4,80	6,08
	<b>Estatísticas</b>	<b>AA-2h (%)</b>	<b>AA-24h (%)</b>
	$\bar{x}$	50,35	56,86
DP (%)	2,71	2,93	
Cv(%)	5,39	5,16	

<sup>2</sup> A Tabela 8 refere-se aos novos painéis confeccionados, citada anteriormente mas inserida novamente apenas para melhor interpretação e continuidade de leitura do texto.

Tabela 17 - Propriedades físicas dos painéis confeccionados com resina poliuretana à base de mamona

POLIURETANA DE MAMONA	<b>Estatísticas</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
	$\bar{x}$	0,84	6,75
	DP (%)	0,06	0,25
	Cv(%)	7,09	3,78
	<b>Estatísticas</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
	$\bar{x}$	13,37	15,51
	DP (%)	1,34	1,78
	Cv(%)	10,00	11,46
	<b>Estatísticas</b>	<b>AA-2h (%)</b>	<b>AA-24h (%)</b>
	$\bar{x}$	36,50	40,76
	DP (%)	2,9	2,34
	Cv(%)	7,96	5,75

Na Tabela 18 verifica-se um comparativo do valor médio entre os 2 tipos de adesivo para os resultados dos ensaios físicos.

Tabela 18 - Propriedades físicas médias dos painéis confeccionados com UF e PU

PROPRIEDADES	UF	PU MAMONA
DENSIDADE (g/cm <sup>3</sup> )	0,84	0,84
UMIDADE (%)	6,16	6,75
INCHAMENTO EM 2H (%)	23,65	13,37
INCHAMENTO EM 24H (%)	28,33	15,51
ABSORÇÃO EM 2H (%)	50,35	36,50
ABSORÇÃO EM 24H (%)	56,86	40,76

- **Densidade ( $\rho$ ) e taxa de compactação (TC)**

Os valores das médias de densidade dos painéis foram iguais (0,84 g/cm<sup>3</sup>) para os dois tipos de adesivo estudados e superiores à densidade nominal de 0,80 g/cm<sup>3</sup> estabelecida para confecção dos painéis. De acordo com a NBR 14810-3 (ABNT, 2006), painéis com densidades entre 0,551 a 0,750 g/cm<sup>3</sup> são considerados de média densidade, conseqüentemente, tanto os painéis confeccionados com UF, quanto os confeccionados com PU Mamona podem ser considerados de alta densidade.



De acordo com a literatura existente o cálculo da taxa de compactação é realizado pela relação entre a densidade nominal definida para confecção dos painéis ( $0,8 \text{ g/cm}^3$ ) e a densidade aparente das partículas de madeira, geralmente para espécies de baixa densidade, não devendo ser inferior a 1,3, entretanto, neste trabalho utilizou-se resíduos de quatro espécies de madeira: **Tauari** com densidade aparente a 12% de  $0,61 \text{ g/cm}^3$  (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS- IPT, 1989), **Cupiúba** com densidade aparente a 15% de umidade de  $0,84 \text{ g/cm}^3$  NBR 7190 (ABNT, 1997), **Cambará** com densidade aparente à 15% de  $0,75 \text{ g/cm}^3$  (IPT, 1989) e **Garapa** com densidade aparente a 15% de  $0,89 \text{ g/cm}^3$  NBR 7190 (ABNT, 1997); considerando-se o cálculo da taxa de compactação para cada espécie obteve-se: 1,31 (Tauari); 0,95 (Cupiúba); 1,06 (Cambará) e 0,90 (Garapa). Consequentemente observa-se que a espécie Tauari apresentou valor de taxa de compactação levemente acima do recomendado e para cada espécie também contida no mix, ocorreram taxas de compactação inferiores ao valor mínimo recomendado em função das características das espécies empregadas para confecção dos painéis, que são consideradas espécies de média e alta densidade. Neste caso, os valores obtidos se constituem de uma referência para avaliação dos procedimentos para confecção dos painéis e ressalta-se que, neste estudo empregou-se pressão de prensagem de  $50 \text{ kgf/cm}^2$ .

Ressalta-se ainda que, foi realizado ensaio para determinação da densidade aparente da massa solta de partículas do mix, com 8,63% de umidade, o valor determinado foi de  $0,27 \text{ g/cm}^3$ . Considerando-se o valor determinado, verificou-se uma taxa de compactação para o mix de 2,94, ou seja, superior a taxa de compactação de 1,3, recomendada na literatura existente.

#### ▪ Teor de umidade (TU)

As médias dos teores de umidade dos painéis obtidas foram de 6,16% e 6,75%, para UF e PU Mamona, respectivamente. Valores dentro do recomendado pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006), que prevê que o teor de umidade médio dos painéis não deve ser inferior a 5% nem superior a 11%. Os valores obtidos de umidade nos painéis podem ter sido influenciados pelo rigoroso controle de

umidade da madeira para produção de móveis (em torno de 5%), neste estudo, a massa do mix de partículas apresentou umidade na ordem de 8,63%.

▪ **Inchamento em espessura (Inc 2h e Inc 24h)**

Os valores médios de inchamento em espessura para 2 e 24 h de imersão em água, foram respectivamente de 13,37% e 15,51% para painéis confeccionados com resina poliuretana à base de mamona e 23,65% e 28,33% para painéis com emprego de ureia-formaldeído. Nota-se que em relação ao adesivo utilizado, os painéis de resina poliuretana apresentaram menores resultados, sendo os resultados de inchamento de ureia-formaldeído 2h e 24h aproximadamente 77% e 83% superiores, respectivamente. Porém, em ambos os casos os valores de inchamento para 2h de imersão foram superiores ao recomendado pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006), de 8%.

Entretanto, estes resultados estão em conformidade com valores encontrados por Dias et al. (2008) para chapas produzidas com resíduos de *Pinus SP*, aderidos com resina poliuretana à base de mamona, que variavam na faixa de 9 a 14% para 2h. Iwakiri et al. (2000), em estudo do aproveitamento de resíduos de eucalipto oriundos de serrarias para produção de painéis, chegou a valores médios de inchamento em espessura de 2h e 24h, que variavam respectivamente de 12,38 a 30,60% e de 23,51 a 38,81% para painéis com emprego de ureia-formaldeído em proporção de 8% e 12% de resina em relação à massa de partículas.

A NBR 14810-2 (ABNT, 2006) não estabelece valores de inchamento em 24h para chapas aglomeradas, entretanto, a Euro Norma para painéis a base de madeira EN 317 (EURO NORMA, 1993), define valores de inchamento em 24h para painéis com espessuras nominais de > 6 a 9 mm igual a 17% e com espessuras nominais de > 9 a 12 mm igual 15%, desta forma, os painéis confeccionados com PU Mamona atenderam aos requisitos em dois níveis de espessura.

A norma americana CS 236-66 (COMMERCIAL STANDRD, 1968) estabelece para chapas de partículas de madeira de média e alta densidade, valores de 35 e 55% para inchamento em espessura.

De acordo com esse documento normativo, os valores obtidos para as chapas produzidas no presente trabalho estão em conformidade com as exigências na norma.

- **Absorção 2h e 24h (Abs 2h e Abs 24h)**

Os valores médios de absorção de água para 2h e 24h de imersão em água, foram respectivamente de 36,5% e 40,76% para os painéis com emprego de resina PU Mamona e 50,35 e 56,86% para painéis com utilização de UF, apresentando, portanto, menores valores os painéis com emprego de PU, aproximadamente 38% para Abs 2h e 39% para Abs 24h.

A norma NBR 14810 (ABNT, 2006) não referencia valores para absorção, porém na pesquisa realizada por Iwakiri et al. (2000) com resíduos de eucalipto, os valores médios de absorção para 2h e 24h variaram respectivamente de 13,94 a 41,74% e de 37,37% a 58,80%, valores em conformidade com os encontrados neste estudo.

Vale ressaltar que os resíduos utilizados são provenientes de empresas moveleiras que possuem um rigoroso controle de umidade das madeiras para produção de móveis e os valores médios de umidade determinados para as partículas neste estudo são baixos (em torno de 8,63%) neste caso, adequados para o emprego de UF, todavia, para o emprego de resina PU Mamona, poderia ser realizado um ajuste no teor de umidade para 10%, objetivando possibilitar melhor homogeneização das partículas com a resina PU Mamona.

### **5.3.2 Propriedades mecânicas**

A Tabela 19 apresenta os valores médios do arrancamento de parafuso de superfície (AP Superfície) e de topo (AP Topo), da adesão interna, do módulo de resistência (MOR) e módulo de elasticidade na

flexão (MOE) em painéis confeccionados com resina UF e a Tabela 20 os valores para painéis com emprego de resina PU Mamona.

Tabela 19 - Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com resina UF

<b>UREIA FORMALDEÍDO</b>	<b>Estatísticas</b>	<b>AP TOPO (N)</b>	<b>AP SUP (N)</b>
	$\bar{x}$	441,67	604,17
	DP (%)	82,11	98,76
	Cv(%)	18,59	16,35
	<b>Estatísticas</b>	<b>MOR (MPa)</b>	<b>MOE (MPa)</b>
	$\bar{x}$	10,89	2331,75
	DP (%)	1,55	224,76
	Cv(%)	14,10	9,64
	<b>Estatísticas</b>	<b>AI (MPa)</b>	
	$\bar{x}$	0,53	
	DP (%)	0,11	
	Cv(%)	21,54	

Tabela 20 - Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com resina PU Mamona

<b>POLIURETANA DE MAMONA</b>	<b>Estatísticas</b>	<b>AP TOPO (N)</b>	<b>AP SUP (N)</b>
	$\bar{x}$	895,83	1033,33
	DP (%)	225,08	398,48
	Cv(%)	25,13	38,56
	<b>Estatísticas</b>	<b>MOR (MPa)</b>	<b>MOE (MPa)</b>
	$\bar{x}$	13,08	1841,77
	DP (%)	4,87	613,71
	Cv(%)	37,19	33,32
	<b>Estatísticas</b>	<b>AI (MPa)</b>	
	$\bar{x}$	1,32	
	DP (%)	0,32	
	Cv(%)	24,39	

A Tabela 21 apresenta uma análise comparativa do valor médio entre os 2 tipos de adesivo para os ensaios físicos.

Tabela 21 - Propriedades mecânicas dos painéis confeccionados com UF e PU Mamona

PROPRIEDADES	UF	PU MAMONA
MOR (MPa)	10,89	13,08
MOE (MPa)	2331,75	1841,77
TP ou AI (MPa)	0,53	1,32
AP SUPERFÍCIE (N)	604,17	1033,33
AP TOPO (N)	441,67	895,33

### ▪ MOR

De acordo com a NBR 14810-3 (ABNT, 2006), os valores mínimos para o MOR deve ser de 18 MPa, com base neste requisito normativo, verifica-se que os valores médios determinados tanto para os painéis confeccionados com UF (10,89 MPa) como PU Mamona (13,08 MPa), não atendem ao requisito mínimo desta norma.

Em seu estudo sobre produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta A. Cunn. Ex R. Br.*, com emprego de resina UF nas proporções 6 e 8%, Iwakiri et al. (2004) chegaram a valores de MOR que variaram de 10,3 a 17,7 MPa, estando de acordo com os valores encontrados neste estudo.

A norma americana CS 236-66 (COMMERCIAL STANDRD, 1968) para painéis aglomerados comerciais estabelece como valor mínimo de MOR 11,2 MPa, assim, os painéis com PU Mamona atenderam esta normalização e os de UF ficaram próximos.

### ▪ MOE

Com relação ao MOE, de acordo com a EN 310 (EURO NORMA, 1993), os valores para dois níveis de espessura (> 6 a 9 mm e > 9 a 12 mm) devem ser de 2700 e 2500 MPa, respectivamente. Nos painéis confeccionados com UF e PU Mamona os valores encontrados de 2332 MPa e 1842 MPa,

respectivamente, estão próximos dos requisitos do referido documento normativo, sendo que, dentre os tipos de painéis estudados, os confeccionados com UF apresentaram valores cerca de 27% maiores.

Iwakiri et al. (2000) chegaram a valores de módulo de elasticidade em flexão estática que variavam na faixa de 1217,89 a 2305,56 kgf/cm<sup>2</sup> para painéis com emprego de resíduo de eucalipto empregando-se UF, valores estes, próximos aos encontrados neste estudo.

#### ▪ **TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP) E/OU ADESÃO INTERNA (AI)**

Com relação aos resultados dos ensaios para determinação da Resistência à Tração Perpendicular e/ou Adesão Interna, a 14810-3 (ABNT, 2006) preconiza o valor mínimo de 0,4 MPa e a EN319, para dois níveis de espessura (> 6 a 9 mm e > 9 a 12 mm), os valores de 0,55 e 0,60 MPa, respectivamente. Considerando-se os requisitos propostos pelos dois documentos normativos, o resultado de Adesão Interna média para os painéis confeccionados com PU Mamona (1,32 MPa) atendeu à ambas exigências, estando 3 vezes maior que o mínimo exigido pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006) e superiores aos de UF (0,53MPa).

Em estudo sobre painéis de partículas de madeira Leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona, Silva et al. (2013) encontraram valor médio de 1,26 MPa, sendo próximo ao valor encontrado neste trabalho, o que demonstra os resultados satisfatórios obtidos.

Os valor médio de Adesão Interna determinado para os painéis confeccionados com UF (0,53 MPa), está acima do exigido pela NBR 14810-3 (ABNT, 2006) e se aproxima dos requisitos mínimos propostos pela norma européia EN319 (EURO NORMA, 1993), para painéis com espessura de > 6 a 9mm.

▪ **ARRANCAMENTO DE PARAFUSO TOPO E SUPERFÍCIE (AP Topo e AP Superfície)**

Segundo a NBR 14810-3 (ABNT, 2006), para painéis com espessura de 14 a 20 mm são preconizados valores mínimos de arrancamento de parafuso de superfície e de topo de 1020 N e 800 N, respectivamente.

Nos ensaios de arrancamento de parafuso na superfície e no topo do corpo de prova, para painéis confeccionados com UF, foram determinados valores médios para painéis com espessura média de 9 mm de 604,17 N e 441,67 N, respectivamente. Os valores médios determinados representam aproximadamente a metade dos valores propostos pela NBR 14810 (ABNT, 2006), entretanto, deve-se considerar que a espessura média dos painéis propostos pela referida norma (17 mm), é 53% maior que a média das espessuras dos painéis confeccionados com UF (9 mm).

Para os painéis confeccionados com resina PU Mamona obteve-se valores médios de 1033N e 896 N, para topo e superfície, respectivamente. Nota-se que os valores do arrancamento de parafuso de topo dos painéis confeccionados com resina PU foram aproximadamente 15% superiores ao arrancamento de parafuso de topo dos painéis confeccionados com UF.

Varanda (2012) em seu estudo sobre painéis confeccionados com *Eucalyptus grandis* e adição de casca de aveia, empregando resina poliuretana à base de mamona, conseguiu valores de arrancamento que variaram de 450 a 1200 (N) para superfície e de 950 a 2350 (N) para topo, valores próximos ao encontrado neste estudo.

### 5.3.3 Análise estatística

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos das propriedades físicas e mecânicas dos painéis para os dois tipos de adesivo, PU Mamona e UF, sendo  $\bar{x}$  a média amostral,  $C_v$  o coeficiente de variação e  $Mín$  e  $Máx$  o menor e o maior valor, respectivamente.

Tabela 22 - Resultados das propriedades físicas e mecânicas

Respostas	PU Mamona				UF			
	$\bar{x}$	Cv (%)	Mín	Máx	$\bar{x}$	Cv (%)	Mín	Máx
APT (N)	895,33	25	650	1250	441,67	19	350	600
APF (N)	1033,33	39	750	1850	604,17	16	450	800
AI (MPa)	1,32	24	1,01	1,98	0,53	22	0,39	0,72
MOE (MPa)	1841,77	33	968	2939	2331,75	10	1988	2718
MOR (MPa)	13,08	37	8,20	22,06	10,89	14	8,56	13,41
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,84	7	0,78	0,98	0,84	3	0,81	0,9
Inc 2h (%)	13,37	10	11,31	16,12	23,65	5	22	25,54
Inc 24h (%)	15,51	11	11,89	18,68	28,33	6	25,12	30,94
Abs 2h (%)	36,50	8	32,64	40,66	50,35	5	44,53	54,22
Abs 24h (%)	40,76	6	37,13	43,72	56,86	5	51,72	60,91
TU (%)	6,75	4	6,25	7,12	6,16	8	5,15	6,62

A Tabela 23 apresenta os resultados da análise de variância segundo o teste de Kruskal-Wallis, estando sublinhados os P-valores considerados significativos ( $P$ -valor  $< 0,05$ ) e os resultados das comparações múltiplas entre postos (agrupamento) de Student-Newman-Keuls, sendo GL o grau de liberdade da ANOVA. Na Tabela 23, letras iguais implicam em tratamentos com médias equivalentes.

Tabela 23 - Resultados da ANOVA de Kruskal-Wallis e dos agrupamentos pelo teste de comparações entre postos de Student-Newman-Keuls

Resposta	H	GL	P-valor (ANOVA)	Agrupamento	
				PU	UF
APT (N)	17,4011	1	<u>0,0000</u>	A	B
APF (N)	14,1067	1	<u>0,0002</u>	A	B
AI (MPa)	10,9534	1	<u>0,0009</u>	A	B
MOE (MPa)	2,9705	1	0,0848	A	A
MOR (MPa)	0,2555	1	0,6132	A	A
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,1921	1	0,6612	A	A
Inc 2h (%)	20,2759	1	<u>0,0000</u>	B	A
Inc 24h (%)	20,2759	1	<u>0,0000</u>	B	A
Abs 2h (%)	20,2759	1	<u>0,0000</u>	B	A
Abs 24h (%)	20,2759	1	<u>0,0000</u>	B	A
TU (%)	11,4224	1	<u>0,0007</u>	A	B



Os resultados observados na Tabela 23 revelaram superioridade dos painéis confeccionados com resina PU Mamona em relação aos produzidos com UF no arrancamento de parafuso de superfície e de topo, adesão interna, inchamento em espessura (2h e 24h) e absorção de água (2h e 24h), resultados equivalentes com a UF no módulo de elasticidade na flexão, resistência na flexão e na densidade e desempenho inferior ao dos painéis confeccionados com UF.

## **6 CONCLUSÕES**

A partir dos resultados obtidos e argumentos embasados, é possível concluir que:

- O melhor tratamento para os painéis foi com emprego da resina poliuretana à base de mamona.
- Os painéis de partículas confeccionados com resíduos de indústrias de móveis, contendo quatro espécies de madeira e resina poliuretana de mamona é uma alternativa viável para produção de painéis aglomerados, pois, além da contribuição ambiental, o aproveitamento de resíduos possibilita agregar valor aos painéis, que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil.
- Pelo número pequeno de equipamentos utilizados na produção dos painéis, aglomerados de resíduos representa uma possibilidade da pequena indústria moveleira ampliar seus lucros a longo prazo, com o que hoje é desperdiçado.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS**

A partir das conclusões são sugeridos para trabalhos futuros:

- Como algumas das propriedades físico-mecânicas avaliadas apresentaram resultados que não atenderam as normas nacionais, sugere-se a realização de novos estudos confeccionando-se

painéis com pequenos ajustes nos parâmetros de confecção, principalmente com relação a granulometria, ou seja, com partículas na faixa de 2 a 6mm de comprimento, a fim de garantir que todas as condições experimentais avaliadas atendam aos requisitos da norma NBR 14810 (ABNT, 2006).

- Variar a quantidade inicial de partículas a fim de se obter razão de compactação na faixa recomendada pela literatura (1,30 a 1,60), e conseqüente controle da densidade final dos painéis.
- Ajustar o teor de umidade nas partículas na faixa de 10% a 12% com o objetivo de propiciar melhor homogeneização da resina PU Mamona às partículas.

## **8 ARTIGOS APROVADOS PARA PUBLICAÇÃO E/OU PUBLICADOS DESTE ESTUDO**

Deste estudo, até a presente data, foram enviados 4 artigos para publicação em congressos e revistas, sendo todos aprovados para publicação.

No Anexo A, tem-se o artigo Particleboard produced with sawmill waste of different wood species, publicado em **Advanced Materials Research**, China, v. 884-885, p. 689-69, 2014.

No Anexo B, consta o termo de aceite para publicação e o artigo “Chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resíduos de empresas moveleiras”, enviado para o Congresso Luso-brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. CLB-MCS 2014, artigo nº A248. Guimarães. Portugal. 5, 6, 7 de março, 2014.

No anexo C, encontra-se o termo de aceite para publicação e o artigo “Study of the Feasibility of "mix" of Species from Sawmill Waste and Limiting for Particleboard”, enviado para International Journal of Composite Materials, v. 3, n. 6, 2013.

No anexo D, tem-se o termo de aceite para publicação e o artigo “Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada homogêneas empregando-se resíduos de empresas moveleiras de São José do Rio Preto e poliuretana derivada de óleo de mamona”, enviado para o XIV Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, Natal. 28 a 30 de abril, 2014.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. 1992. 120 f. Dissertação (Mestrado)- Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. Cenário da indústria de painéis. In: ENCONTRO DA CADEIA PRODUTIVA DE MADEIRA E MÓVEIS DO RIO GRANDE DO SUL, 8., 2009, Bento Gonçalves. **Anais...** Rio Grande do Sul: SENAI CETEMO, 2009. Disponível em: < <http://www.cgimoveis.com.br/mercado/documento.2009-11-06.3011537550/>>. Acesso em: 7 ago 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. Cenário das indústrias de painéis: estatísticas e números. In: PRODUÇÃO, IMPORTAÇÃO, EXPORTAÇÃO E CONSUMO INTERNO BRASILEIRO DE PAINÉIS, 52., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABIPA, 2012. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 11 ago 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14.810-1**: painéis de madeira aglomerada - parte 1: definições. Rio de Janeiro, 2006. 39 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14.810-2**: painéis de madeira aglomerada - parte 2: requisitos. Rio de Janeiro, 2006. 39 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14.810-3**: painéis de madeira aglomerada - parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006. 39 p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7190**: projeto de estrutura de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 10 p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248**: agregados - determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista visão**, Santa Catarina, v. 1, n. 4, p. 1-11. 2008.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservantes CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

\_\_\_\_\_. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de Painéis de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 129 f. Dissertação (Mestrado)- Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BERTOLINI, M. S.; ROCCO, F. A. L.; AGNELLI, J. A. M.; NASCIMENTO, M. F. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated *Pinus sp.* and castor oil resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, p. 293-303, 2013.

BERTOLINI, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com CCB e resina PU de mamona na produção de chapas de partículas. In: ROCCO, C. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 23-56.

BLECHA, K. A. et al. Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas. In: ROCCO, C. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 111-121.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 15, n. 26, p. 34-39, 1996.

CARLO, E. de; POLITO, W. L. **Desenvolvimento e caracterização de um poliuretano monocomponente baseado em óleo vegetal curado ao ar**. 2002. 282 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CAMPOS C. I. **Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores**. 2005. 113 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

CARNEIRO, M. S. **Processo produtivo de resíduos em cinco madeiras no município de Paragominas-PA**. 2006. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia Agroindustrial) - Campus VI, Universidade do Estado do Pará, Paragominas, 2006.

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

CHRISTOFORO et al. Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena. In: ROCCO, C. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 111-121.

COMMERCIAL STANDARD - **CS 236-66**: material formed wood particleboard. [S.1], 1968. 9 p.

COSTA, L. P. E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CALEGARI, L. Qualidade das chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos do processamento mecânico da madeira de *Pinnus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 311-322, 2005.

DIAS F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no laboratório de madeiras e de estruturas de madeira- SET-EESC-USP**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2008. p. 73-92.

\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de resíduos de pinnus sp. para a produção de chapas de partículas utilizando resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. São Carlos. LaMEM-EESC-USP, 2008. 12 p.

ESHUN, J. F.; POTTING, J.; LEEMANS, R. Wood waste minimization in the timber sector of Ghana: a systems approach to reduce environmental impact. **Jornal of Cleaner Production**, New York, v. 26, n. 5, p. 67-78, 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas, 1993. 16 p.

\_\_\_\_\_. **EN 317**: particleboards and fibreboards: determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993. 12 p.

\_\_\_\_\_. **EN 319**: particleboards and fibreboards: determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas, 1993. 10p.

\_\_\_\_\_. **EN 323**: wood-based : determination of density. Bruxelas, 1993. 12 p.

FEITOSA, B. C. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará 2008. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 3, n.114, p. 37-41, 2008. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=114&id=12741](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=114&id=12741)>. Acesso em: 10 nov. 2013.

GONZÁLEZ-GARCIA, S.; FEIJOO, G.; HEATHCOTE, C.; KANDELBAUER, A.; MOREIRA, M. T. Environmental assessment of Green hardboard production coupled with a laccase activated system. **Journal of Cleaner Production**, New York, v. 19, n. 4, p. 445-453, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PRODUTIVIDADE- IBQP. **BRICS\_- \_Brasil**. Curitiba: Publicação IBQP, 2010. Disponível em: <[www.ibpq.org.br](http://www.ibpq.org.br)>. Acesso em: 27 ago 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: Publicação IPT 4371, 2013. 104 p.

ISAIA, G. (Ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. v. 2, p. 1265-1289.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 147 p.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resina. **Scientia Forestalis**, Curitiba, v. 41, n. 68. p. 39-43, ago 2005.

IWAKIRI, S.; CUNHA, A., B.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; GORNIAC, E.; MENDES, L. M. Resíduos de serrarias na produção de painéis da madeira aglomerada de eucalipto. **Scientia Agrária**, Paraná, v. 1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta a. Cunn.* Ex R. Br. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 6, p. 883-887, 2004.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. 106 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

LESSMANN, V. E. **Estudo reação de cura de resinas ureia-formol por espectrometria de ressonância nuclear**. 2008. 121f. Tese (Mestrado)- Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná- UFP, Curitiba, 2008.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 684 p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice** (VNR structural engineering). New York: Hardcover, 1992. v.1, 454 p.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 27, p. 121-156, mar 2008.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: materials**. London: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 244 p.

NASCIMENTO et al. Viabilidade do emprego de *Eucalyptus* tratado com CCA e CCB na produção de painéis particulados de alta densidade. In: ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/US, 2013. p. 57-89.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO DE AGRICULTURA- FAO. **Produção brasileira de painéis de madeira**: fostat forestry. Roma: [s.n.], 2010. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/sit/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>>. Acesso em: 13 jun. 2013.



PINHEIRO, G. L.; BRITO, E. O. Avaliação da granulometria de partículas de *Pinnus taeda* combinadas com adesivos comerciais para a fabricação de aglomerados. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 60-67, jan/dez. 2000.

POLETO, S. F. S. et al. Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécies de reflorestamento. In: ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos. EESC/USP, 2013. p. 1-22.

ROCCO LAHR, F. A. (Org.). **Produtos derivados da madeira**: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeiras. São Carlos: LAMEM, 2008. 161 p.

ROQUE, C. A. L. **Painéis de madeira aglomerada**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social- BNDES, 1998. 22 p. Disponível em: <[www.bndes.gov.br](http://www.bndes.gov.br)>. Acesso em: 23 out. 2012.

SILVA, S. A. M. **Aproveitamento de resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para a produção de chapas de partículas homogêneas, empregando-se resina poliuretana derivada de óleo de mamona**. 2007. 165 f. Tese (Pós-doutorado)- Escola de Engenharia de São Carlos- EESC, Universidade de São Paulo- USP, São Carlos, 2007.

SILVA, S. A. M. et al. Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena. In: ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 111-121.

SILVA, S. A. M.; ROCCO LAHR, F. A. Chapas de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade. In: CHAHUD, E.; ALCÂNTARA, E. P. L.; LAHR, F. A. R. **Reciclagem de resíduos para a construção civil**. Belo Horizonte: Editora da Universidade FUMEC – FEA, 2008. p. 343-365.

SILVA, S. A. M. et al. Painéis de partículas de madeira leucina e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 8, p. 1399-1404, ago 2013.

SILVA, S. A. M. et al. Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com partículas de madeira tropical e poliuretana derivado de óleo de mamona. In: ROCCO LAHR, F. A.; CHRISTOFORO, A. L. (Org.). **Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos**. São Carlos: EESC/USP, 2013. p. 91-110.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

VARANDA, L. D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia**. 2011. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

VARGINHA (Município). Lei nº 3.687, de 6 de junho de 2002. Institui o projeto pro-mamona no âmbito do município de varginha e dá outras providências. Disponível em: <  
<http://varginha.mg.gov.br/legislacao-municipal/leis/89-2002/2420-lei-3687>>. Acesso em: 11 fev. 2014.

VIGNOTE P. S.; JIMÉNEZ P. F. J. **Tecnología de la madera**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1996. 602 p.

WEBER. C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

## ANEXO A

- **Artigo publicado em “Advanced Materials Research”**

*Advanced Materials Research Vols. 884-885 (2014) pp 689-693 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland  
doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.884-885.689*

### **Particleboard produced with sawmill waste of different wood species**

Luciane Simal Alves<sup>1,a</sup>, Sérgio Augusto Mello da Silva<sup>1,b</sup>, Maximiliano dos Anjos Azambuja<sup>2,c</sup>, Luciano Donizeti Varanda<sup>3,d</sup>, André Luis Christóforo<sup>4,e</sup>, Francisco Antonio Rocco Lahr<sup>3,f</sup>

<sup>1</sup>São Paulo State University (UNESP) – Al. Bahia, 550, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brazil

<sup>2</sup>São Paulo State University (UNESP) - Av. E. L. E. C. Coube, 14-01, 17033-360, Bauru, SP, Brazil

<sup>3</sup>São Paulo University (USP) - Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590, São Carlos, SP, Brazil

<sup>4</sup>Federal University of São João Del Rei (UFSJ) - Praça Frei Orlando, 170, 36307-352, São João del-Rei, MG, Brazil

<sup>a</sup>lusimal@gmail.com, <sup>b</sup>sams@dec.feis.unesp.br, <sup>c</sup>maximilianoazam@feb.unesp.br,

<sup>d</sup>lu.varanda@hotmail.com, <sup>e</sup>alchristoforo@yahoo.com.br, <sup>f</sup>frocco@sc.usp.br

**Keywords:** Physical properties, residues, timber.

**Abstract:** This study aimed to investigate physical performance of particleboards produced with waste from sawmills, containing different wood species, and two adhesives: urea-formaldehyde (UF) based resin and castor-oil (PU) based bi-component polyurethane resin. Panels were produced with nominal density 0.8gcm<sup>-3</sup>; pressing temperature 110°C; pressing time 10 min; specific pressure 5 MPa. Water absorption (2 and 24h); thickness swelling (2 and 24h); density; and moisture content were investigated. Results confirmed that the produced panels presented compatible physical properties in comparison with other researches referred in literature, proving the feasibility of inputs employed. Panels produced PU showed better performance than those produced with UF.

## Introduction

Sustainability issues, the act of promoting means of production, distribution and consumption of resources, so cohesive, economically efficient and environmentally friendly [1], have been demanding world attention. In this context, wood-based panels are inserted with utilization of waste from sawmills and wood processing industries, which adds value to this abundant raw material.

Production principles induct advantages of wood-based panels, mainly particleboards (MDP) over other wood composites and also the lumber. Authors as [2, 3, 4, 5, 6] refer to these topics and study ways to improve physical and mechanical properties. According to them, stand out among advantages of those panels: reduction of anisotropy effects; eliminating aspects of reducing resistance; particles size, degree of densification; time and pressing temperature; possibility of waste reuse in production; as well as lower manpower and product costs.

Forest-based industries generate a large amount of waste during operational phases [7]. Only 35% of each logs are processed into sawn products, the remnant is usually wasted [8].

An environmental issue must be considered: adhesives origin. PU resin, a renewable resource, will not emit pollutants during manufacturing process and represents an alternative to UF resins, usually employed in this matter, but with a serious inconvenience: formaldehyde emission during pressing process [6]. PU resins in MDP production [9, 10, 11, 12, 13, 14] means a technical innovation, giving them good physical and mechanical properties, beyond waterproofing characteristics.

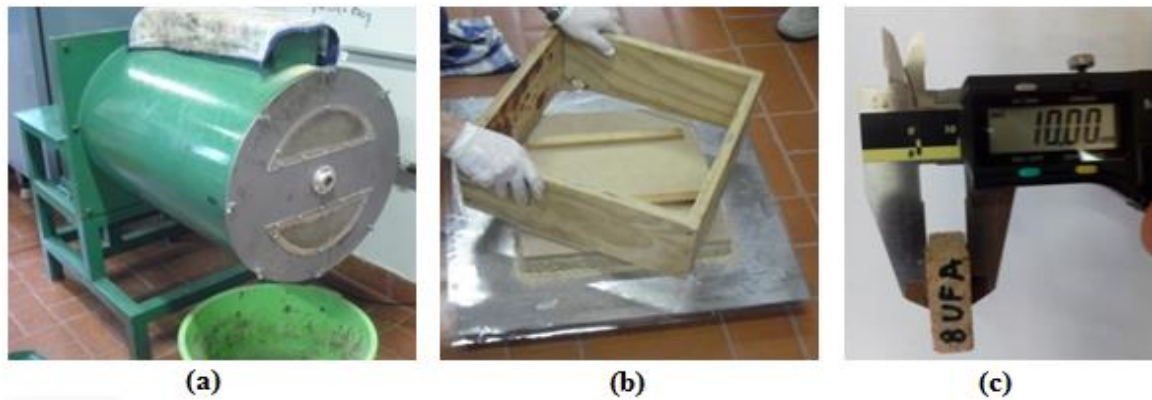
Several studies have been developed regarding to the use of wood waste, mainly in particleboard production [15, 16], but of residues of different wood species has been little explored.

In this sense, this paper aimed to develop a study on using wood residues obtained in sawmills in the region of São José do Rio Preto, São Paulo State, Brazil. Pre-selection of wood species wasn't adopted, but a gradation selection by knife mill was considered, aiming to adjust particles sizes to panel production. Two adhesives were used: UF (conventional) and PU (alternative).

## Material and methods

Waste from sawmills were collected randomly in the region of São José do Rio Preto, northwest of São Paulo State, Brazil. According to information from providers residues were obtained of Tauari (*Couratari sp*), Cupiúba (*Goupia glabra*), Garapa (*Apuleia leiocarpa*) and Cambará (*Erismia uncinatum*). Bi-component castor oil based polyurethane (PU) and urea-formaldehyde resins (UF) were employed [4, 6]. The parameters stipulated in particleboard production were: nominal density (0.80g/cm<sup>3</sup>); nominal thickness (10mm); resin proportion based on particles mass (10%); pressing cycle (10min); pressing temperature (110°C); pressing pressure (5MPa); particle size, resulting from the processing mill knives (max 2,8mm) [5, 12].

Panel production was conducted considering: particles with dimension under 4.76mm (obtained in a knife mill); resin applied according to manufacturer recommendations; five minutes in a mixer to get homogenization among particles and resin (Fig. 1a); mattress pre-pressing (Fig. 1b) before cycle in an hydraulic press (110°C and 5 MPa), corresponding to 3 minutes pressing, 30 seconds of discharge (to prevent problems in gas elimination) and other 7 minutes pressing.



**Fig. 1-** Particleboards (a) mixer; (b) mattress pre-pressing; (c) specimen to determine thickness swelling

Six particleboards were produced: three with urea-formaldehyde adhesive resin and three with castor-oil based polyurethane resin. Nominal dimension adopted were 40cmx40cmx1cm dimensions. From each panels twelve specimens were obtained to determine: water absorption (2h and 24h); thickness swelling (2h and 24h), Fig. 1c; density and moisture content.

The factor influence of resin type (PU or UF) in physical properties of interest was evaluated by analysis of variance (ANOVA), Kruskal-Wallis test (nonparametric) and multiple comparisons (Student-Newman-Keuls test) with the aid of BioEstat ® version 5.0. Significance level ( $\alpha$ ) set for the ANOVA was 5%, and the null hypothesis ( $H_0$ ) formulated consisted of equivalence between means of the two treatments, implying non-equivalence for alternative hypothesis ( $H_1$ ). P-value of the Kruskal-Wallis test below the significance level implies rejecting  $H_0$  and accepting it otherwise.

## Results and discussions

Table 1 presents results of the physical properties of particleboards studied:  $\bar{x}$  (sample mean); CV (coefficient of variation); Min and Max (smallest and largest values).

**Table 1.** Physical Properties: results.

Properties	PU resin				UF resin			
	$x$	$Cv$ (%)	$Mín$	$Máx$	$x$	$Cv$ (%)	$Mín$	$Máx$
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0.84	7	0.78	0.98	0.84	3	0.81	0.90
Inc 2h (%)	13.37	10	11.31	16.12	23.65	5	22.00	25.54
Inc 24h (%)	15.51	11	11.89	18.68	28.33	6	25.12	30.94
Abs 2h (%)	36.50	8	32.64	40.66	50.35	5	44.53	54.22
Abs 24h (%)	40.76	6	37.13	43.72	56.86	5	51.72	60.91
TU (%)	6.75	4	6.25	7.12	6.16	8	5.15	6.62

### Density ( $\rho$ ) and Moisture Content (TU)

Density mean values were equivalent (0.84g/cm<sup>3</sup>) for the two types of adhesive studied and higher than the nominal density (0.8 g/cm<sup>3</sup>) established to particleboard manufacture. According to ABNT NBR 14810-3:2006 [17], panels with density between 0.551 and 0.750 g/cm<sup>3</sup> are considered as medium density. Therefore both panels (FU and PU resins) may be considered as high density.

According to [2], panels of higher density have higher modulus of rupture in static bending, however, the dimensional stability is impaired due to the higher thickness swelling, because with higher amount of particles greater influence of wood hygroscopic swelling is present.

Mean values obtained reached 6.1 and 6.7%, UF and PU resins, respectively, obeying ABNT NBR 14810-3:2006 [17] requirement ( $5 \leq TU \leq 11$ ). According to [18], species with higher moisture content in equilibrium condition for solid wood tend to higher equilibrium moisture content for reconstituted products. So, it is difficult to compare, once equilibrium moisture content of wood depends on several factors besides species, as radiation and relative humidity [19].

#### *Thickness swelling (Inc 2h and Inc 24h)*

Mean values of thickness swelling (2 and 24h water immersion) were 13.3% and 15.5% for PU panels; and 23.6% and 28.3% for UF panels. Related to adhesive, results of thickness swelling to UF panels (2h and 24h) were about 77% and 83% higher, respectively, than PU panels. In both cases, swelling for 2h water immersion was higher than 8%, required by ABNT NBR 14810-3:2006 [17].

These results are compatible to those [18] related to panels produced with forest species, whose variation ranged from 12 to 17% (2h). In a study about using waste derived from eucalyptus mills for particleboard production, authors [7] reached thickness swelling mean values (2 and 24h), respectively, ranging from 12.38 to 30.60%, and from 23.51 to 38.81%, for UF and PU panels, 8% and 12%, resin based on particles mass.

ABNT NBR 14810-3:2006 [17] doesn't establish swelling values (24h) for particleboard. However, European Standard for wood based panels EN 317:1993 [20] defines 17% as higher value for thickness swelling (24h), panels with nominal thicknesses between 6 and 9 mm; to nominal thickness between 9 and 12mm maximum value is 15%. PU panels met both requirements.

USA Code CS 236-66:1968 [21] determines for particleboards, medium and high densities, 35 and 55% for thickness swelling. According to this Code, values obtained for the produced panels in this study are in accordance with such references.

#### *Water absorption 2h and 24h (Abs 2h and Abs 24h)*

Water absorption (2 and 24h) were 36.5% and 40.7%, respectively, for PU panels; and 50.3 and 56.8%, respectively, for UF panels, differences about 38% to 39% to Abs 2h and Abs 24h.

ABNT NBR 14810:2006 [17] doesn't reference values for absorption. In research conducted by [8] with residues of eucalyptus the average absorption for 2 and 24 hours, respectively ranged from 13.94 to 41.74%, and 37.37 to 58.80% in accordance with the values found in this study.

Table 2 shows results of analysis of variance (Kruskal-Wallis test). P-values significant ( $<0.05$ ) and results of comparisons between multiple stations (group) Student-Newman-Keuls test (1 degree of freedom) are underlined. In Table 2, same letters imply treatments with equivalent means.

**Tabela 2** – Results of Kruskal-Wallis and Student-Newman-Keuls tests.

Properties	H	P-valor	Agrupamento	
			PU	UF
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,192	0,661	A	A
Inc 2h	20,275	<u>0,000</u>	B	A
Inc 24h	20,275	<u>0,000</u>	B	A

Abs 2h	20,275	<u>0,000</u>	B	A
Abs 24h	20,275	<u>0,000</u>	B	A
TU	11,422	<u>0,007</u>	A	B

Results in Table 2 showed superiority of PU panels in thickness swell (2 and 24h) and absorption water (2 and 24h), confirming the very good performance of PU resin in this application.

## Conclusions

Thickness swelling and water absorption (2 and 24h) met requirements of standards EN 317:1993 [20] and CS 236-66:1968 [21]. All panels are classified as high density (above 750 kg/m<sup>3</sup>).

PU panels, in general terms, showed better results compared to UF panels, confirming the very good performance of PU resin in this application. So, we conclude that to produce particleboards with waste from sawmills and furniture industries (with different wood species) and castor-oil based polyurethane resin are feasible considering their physical properties, besides contributing to environmentally correct waste disposal.

## References

- [1] G.S. Barbosa. O desafio do desenvolvimento sustentável. *Rev. Visão*, 4.ed., Vol. 1(4), (2008).
- [2] S. Iwakiri. *Painéis de madeira reconstituída*. (FUPEF, Curitiba, Brazil, 2005).
- [3] L.D. Varanda. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia. Master thesis, São Paulo Universitys, Brazil (2012).
- [4] S.A.M. Silva, A.L. Christoforo, T.H. Panzera, D.H. Almeida, A.A.S. Segantini and F.A. Rocco Lahr. Particleboard manufactured with leucena wood and polyurethane resin castor oil based. *Cienc. Rural*, Vol. 43(8), (2013), p. 1399-1404.
- [5] S.A.M. Silva, A.L. Christoforo, S.L.M.R. Filho, L.D. Varanda and F.A. Rocco Lahr. Particleboard Manufactured with Bicomponent Polyurethane Resin Base on Castor Oil. *Int. J. Compos. Mater.*, Vol. 2(6), (2012), p. 115-118.
- [6] M.F. Nascimento, F.A. Rocco Lahr, M.S. Berolini and A.M. Souza. Viabilidade do emprego de *Eucalyptus* tratado com CCA e CCB na produção de painéis particulados de alta densidade. In: F.A. Rocco Lahr and A.L. Christoforo (Org.). *Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos*, Capítulo 3, p. 57-89, São Carlos, EESC/USP (2013).
- [7] S. Iwakiri, A. Cunha, C.E. Albuquerque, E. Gorniak and L.M. Mendes. Eucalypt's wood residues deriving from sawmills for particleboard manufacturing. *Sci. Agr.*, Vol. 1(1-2), (2000), p. 23-28.
- [8] B.C. Feitosa. Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará. Remade, ed. 114 (2008). Information on: [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_capa.php?edicao=114](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_capa.php?edicao=114), Acess in 10/11/2013.
- [9] J.M.H. Jesus. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). Ph.D. thesis, University of São Paulo, São Carlos, Brazil (2000).
- [10] C.I. Campos. Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores. Master thesis, University of São Paulo, São Carlos, Brazil (2005).
- [11] S.A.M. Silva. Aproveitamento de resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para a produção de chapas de partículas homogêneas, empregando-se resina poliuretana derivada de óleo de mamona. Postdoctoral thesis, University of São Paulo, São Carlos, Brazil (2007).

- [12] M.S. Bertolini, F.A. Rocco Lahr, M.F. Nascimento and J.A.M. Agnelli. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated Pinus sp. and castor oil resin. *Mater. Res.*, Vol. 16(2), (2013), p. 293-303.
- [13] SILVA, S.A.M. Silva; A.L. Christoforo; T.H. Panzera; D.H. Almeida; A.A.S. Segantini; F.A. Rocco Lahr. Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. *Ciência Rural*, v. 43, p. 1399-1404, 2013.
- [14] D.A.L. Silva, F.A.R. Lahr, R.P. Gracia, F.M.C.S. Freire and A.R. Ometto. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. *Int. J. Life Cycle Ass.*, Vol. 18, (2013), p. 1404-1411.
- [15] S.F. Poletto, L.D. Varanda, M.F. Nascimento, A.L. Christoforo and F.A. Rocco Lahr. Evaluation of the Mechanical Properties of Particleboards Manufactured with Waste of Pinus elliottii Tree Pruning. *Int. J. Compos. Mater.*, Vol. 3(3), (2013), p. 56-60.
- [16] M.S. Bertolini, M.F. Nascimento, K.Blecha and F.A.R. Lahr. Eco-panels Based on Wastes from Urban Trees and Castor Oil Polyurethane Resin. *Int. J. Agric. Forest.*, Vol. 3(1), (2013), p. 12-15.
- [17] Brazilian Association of Technical Standards. “Painéis de Madeira Aglomerada parte 1: Definições; parte 2: Requisitos; parte 3: Métodos de ensaio.” *ABNT NBR 14810*, Rio de Janeiro, Brazil (2006).
- [18] R. Trianoski. Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada. Master thesis, University Federal of Paraná, Brazil (2010).
- [19] A.P.M. Galvão. Estimativas da umidade de equilíbrio da madeira em diferentes cidades do Brasil. *IPEF*, N.11, (1975), p.53-65.
- [20] European Committee for Standardization. *EN 317: Particleboards and fiberboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water*, Bruxelas (1993).
- [21] Commercial Standard – *CS 236-66*. Material formed wood particleboard, S1, (1968).



## ANEXO B

- Aceite “Congresso Luso-brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis 2014”



### FICHA DE REVISÃO DE RESUMOS

Artigo Nº: A248

Título: CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA CONFECCIONADAS COM RESÍDUOS DE EMPRESAS MOVELEIRAS

Autores: Luciane Simal Alves, Sergio Augusto Mello da Silva

**POR FAVOR ASSINALE A RESPOSTA ADEQUADA.**

Relevância para os temas do CLB-MCS 2014

Sim

Não

Se relevante, aceitável para o CLB-MCS 2014

Sim

Não

Comentários:

Bom resumo, adequado a apresentação

- Artigo enviado ao “Congresso Luso-brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis 2014”

## **Chapas de madeira aglomerada confeccionadas com resíduos de empresas moveleiras**

ALVES, Luciane S.<sup>1, a</sup>, SILVA, Sérgio A. M.<sup>2, b</sup> e AZAMBUJA, Maxiliano A.<sup>3, c</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Alameda Bahia, 550 - 15385-000 - Ilha Solteira/SP, Brasil

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Civil - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Alameda Bahia, 550 - 15385-000 - Ilha Solteira/SP, Brasil

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia Civil - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Bauru - Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube, 14-01 - 17033-360 - Bauru/SP, Brasil

<sup>a</sup>lusimal@hotmail.com.br, <sup>b</sup>sams@dec.feis.unep.br, <sup>c</sup>maximilianoazan@feb.unesp.br

**Palavras-chave:** Aglomerados, resíduos de madeira, poliuretana de mamona.

**Resumo.** Empresas produtoras de móveis no município de São José do Rio Preto - SP enfrentam dificuldade no descarte de resíduo, entretanto, parte destes são utilizados na geração de energia ou descartados a céu aberto. Considerando-se a grande disponibilidade dos resíduos e a possibilidade de aproveitamento, este trabalho confeccionou e avaliou chapas de madeira aglomerada homogênea com os resíduos de cinco espécies de madeira nativa da Amazônia, que foram coletados em várias empresas e processados em moinho de facas. Os parâmetros para confecção das chapas foram: 5 MPa de prensagem, 110<sup>0</sup> C de temperatura, 10 % de resina poliuretana de mamona (PU-Mamona), densidade nominal das chapas de 0,8 g/cm<sup>3</sup> e umidade das partículas de aproximadamente 8,63%. Utilizou-se para verificação das propriedades das chapas a ABNT NBR14810 (2006), a EN310 (1995), EN317 (1995), EN319 (1995), EN323 (1995) e a CS 236-66 (1968). Os valores médios determinados para densidades foi de 0,84 g/cm<sup>3</sup>, umidade de 6,75 %, inchamento em 2 horas de 13,37 %, modulo de ruptura na flexão (MOR) de 13,08 MPa, módulo de elasticidade (MOE) de 1841,77 MPa, resistência atração perpendicular de 1,32 MPa e arrancamento de parafuso de face e de topo de 896 e 1033 N, respectivamente; esses valores indicam que os resíduos utilizados podem ser utilizados para a produção de chapas de madeira aglomerada homogênea, entretanto, há necessidade de ajustes dos parâmetros de confecção das chapas para atender as exigências normativas quanto ao Inchamento em 2h, o MOR e MOE.

### **Introdução**

A preocupação com a preservação dos recursos naturais impulsiona a sociedade mundial à procura de meios de produção, distribuição e consumo dos recursos existentes de forma coesiva, economicamente eficaz e ecologicamente correta. Neste contexto, estão inseridos os painéis de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos oriundos da indústria moveleira, que possibilita agregar valor a este recurso secundário e abundante.

Uma questão ambiental em termos dos insumos aplicados em painéis a ser considerada, refere-se à origem dos adesivos. A resina PU-Mamona, por ser oriunda de um produto renovável e emitir gases não nocivos ao homem durante o processo de fabricação das chapas, representa uma alternativa para a industrialização destes produtos em substituição aos adesivos à base de formaldeído, usualmente empregados na produção de painéis de madeira, e que apresentam o inconveniente de liberar formol durante o a fabricação das chapas. [1]

Um número considerável de estudos tem sido desenvolvido no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos madeireiros, principalmente Pinus e Eucalipto na produção de painéis de partículas, porém, a utilização dos rejeitos com mistura de diversas espécies de madeiras e emprego de resina em substituição à uréia formaldeído, tem sido pouco explorada.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o aproveitamento de resíduos oriundos de indústrias moveleiras da região de São José do Rio Preto - SP. O resíduo coletado foi tratado utilizando-se moinho de facas para adequação de sua forma e granulometria e empregou-se de resina poliuretana à base de mamona para consolidação das chapas.

### **Referências bibliográficas**

Os aglomerados são conceituados por como painéis produzidos com partículas de madeira, incorporando-se resinas sintéticas ou outros adesivos, consolidados por meio de um ciclo de prensagem, aplicando-se temperatura e pressão constantes [2, 3, 4, 5, 6].

Os parâmetros de fabricação propiciam vantagens aos aglomerados com relação aos outros compostos de madeira bem como à madeira serrada [4, 7, 8, 9, 10, 11], conseqüentemente, vários pesquisadores tem estudado como melhorar as propriedades das chapas.

Dentre as principais vantagens das chapas destaca-se a redução dos efeitos da anisotropia, eliminação de aspectos redutores da resistência, possibilidade de alteração das propriedades físico-mecânicas por meio do controle das variáveis do processo, como a resina, a geometria das partículas, o grau de densificação, o tempo e temperatura de prensagem, etc; menos exigências quanto ao diâmetro das toras, forma do fuste e defeitos; possibilidade de reaproveitamento de resíduos na produção; menor custo de produto e mão de obra.

### **Resíduos de empresas moveleiras**

A indústria moveleira é uma das maiores responsáveis na geração de resíduos [11] e apenas 35% de cada tora são transformados em produto serrado, os outros 65% são desperdiçados, transformados em resíduos não aproveitados pela indústria [12].

Uma grande parte de resíduos provenientes de processamento mecânico da madeira é utilizada na geração de energia para fins industriais e domésticos. No entanto, apesar dos benefícios sociais, esta forma de utilização agrega pouco valor ao produto final, além do que, propicia a geração de gases

decorrentes da combustão da madeira. Neste sentido, a produção de painéis de madeira aglomerada é uma forma alternativa de utilização viável e adequada dos resíduos de indústrias moveleiras e uma opção promissora para se obter um produto de qualidade [13].

### **Aspectos sobre a resina poliuretanas à base de mamona**

O surgimento das resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona, foi motivado pela proposta de utilização de produtos biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa [10].

O primeiro adesivo bicomponente derivado do óleo de mamona, conhecido internacionalmente como “*Castor Oil*”, foi desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo e é constituído por um polioli (líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente) e um pré-polímero (polímero com polimerização incompleta), que ao serem misturados originam uma poliuretana. Como esta reação ocorre por meio de mistura, pode-se variar a porcentagem dos mesmos, resultando em poliuretanas com maior ou menor rigidez e/ou maior ou menor flexibilidade, de acordo com é um adesivo que cura a frio e esta pode ser acelerada sob ação de temperatura [13, 15].

O emprego das resinas oriundas da mamona para a produção de chapas de partículas representa uma inovação tecnológica, pois, como evidenciado em estudos desenvolvidos por [10, 16, 17, 18, 19, 20, 21], entre outros, esta resina confere resultados físicos e mecânicos satisfatórios nas chapas, além de características impermeabilizantes e a vantagem de não apresentar emissão de formol.

### **Trabalhos com temas correlatos**

Nos estudos desenvolvidos para avaliar a viabilidade, foi analisada a viabilidade de fabricação de painéis de partículas homogêneas a partir de resíduos de *Eucalyptus grandis* e casca de *Pinus elliottii*, utilizando como adesivo a resina poliuretana à base de mamona; produziu-se 5 chapas de resíduos de *Eucalyptus grandis* e 15 chapas da combinação entre os resíduos, nas proporções de 70%, 50% e 30% (em peso), de um total de 100% de resíduos. Os resultados da análise físico-mecânica das chapas apontam para a viabilidade técnica da produção das chapas com ou sem adição da casca de *Pinus elliottii*, para emprego como componentes da edificação e na indústria moveleira [15].

Objetivando avaliar chapas aglomeradas com o emprego de madeiras tropicais para aplicação como componentes para construção civil e emprego na indústria moveleira; foram confeccionadas chapas utilizando-se partículas de *Cordia goeldiana* (Freijó), *Leucaena leucocephala* (Leucênea), *Ficus insípida* (Figueira Branca), *Ceiba pentandra* (Paineira), empregando-se 10% (base peso seco) de resina poliuretana monocomponente e bicomponente derivada de óleo de mamona. Com as avaliações realizadas, compararam-se valores de densidade aparente pelo método de Tukey e foi possível concluir que as variações das densidades aparentes das chapas estão dentro dos limites de variabilidade admissíveis pelo método de análise empregado e conclui-se que é possível produzir chapas com teores de resina inferiores a 10% [10].

Em investigações sobre o desempenho mecânico de compósitos laminados com o emprego fibras de sisal como reforço em painéis de partículas de madeira *Pinus sp* com resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona. Os resultados do módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) dos materiais desenvolvidos sem a inclusão dos reforços superaram os limites contidos nos documentos

normativos ABNT NBR14810-2:2002 e ANSI A208.1:199, comprovando a viabilidade dos materiais elaborados. A inclusão dos compósitos laminados conduziu a valores superiores tanto para o MOE quanto para o MOR quando comparados ao MOE e MOR dos materiais fabricados sem reforço [22].

Estudos desenvolvidos para avaliação de chapas aglomeradas homogêneas com espessura nominal de 10 mm e empregando-se partículas de madeiras da Amazônia (*Erismia uncinatum*, *Nectranda lanceolata*, *Erismia sp*); foram determinadas densidade nominal de 0,75g/cm<sup>3</sup> empregando-se 10% de resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona e partículas com comprimentos entre 0,02mm a 6mm, sob condições de prensagem com temperatura de 90°C, 4MPa e tempo de 10min. Nas avaliações realizadas de acordo com a ABNT NBR 14810:2002, as chapas de partículas *Nectranda lanceolata* apresentaram os maiores valores de resistência, sendo estes superiores ao limite estabelecido pela NBR14810:3/2006 [23].

Avaliações realizadas em painéis de madeira aglomerada confeccionados com resíduo de serraria de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*, verificou-se que as propriedades de absorção de água, inchamento em espessura, ligação interna, MOE e MOR, apresentaram resultados satisfatórios em comparação com chapas confeccionadas com espécies *Pinus elliotti*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunnii*, mencionadas na literatura. Os painéis produzidos com *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* com 12% de resina apresentaram os melhores resultados de propriedades mecânicas, sendo mais indicados para produção das chapas [13].

## Materiais e métodos

Os resíduos foram coletados aleatoriamente em indústrias da região de São José do Rio Preto-SP e os fatores e níveis estipulados na elaboração das chapas foram: espécies de madeira (Tauari, Cupiúba, Garapa e Cambará), tipo de resina (poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona), densidade nominal (0,80g/cm<sup>3</sup>), espessura nominal (10mm), porcentagem de resina (10% base peso seco), tempo utilizado no ciclo de prensagem (10min), temperatura de prensagem (110°C), pressão de prensagem (5MPa), dimensão das partículas (resultante do processamento em moinho de facas).

Depois de processadas em moinho de facas as partículas foram submetidas à análise granulométrica em amostras de 500g, de acordo com as especificações de documento normativo [24].

Produziu-se 3 chapas aglomeradas com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona nas dimensões de 400mmx400mmx10mm. A Tab. 1 apresenta as propriedades avaliadas e a quantidade de corpos-de-prova de acordo com as especificações de documento normativo [25].

Tabela 24: Propriedades avaliadas

Propriedades	Dimensões [mm]	Qtde de CP
Densidade [g/cm <sup>3</sup> ]	50x50x10	12
Teor de umidade [%]	50x50x10	12
Inchamento e absorção [%]	25x25x10	12
Módulo de resistência à flexão [MPa]	250x250x10	12
Módulo de elasticidade na flexão [MPa]	250x250x10	12
Resistência à tração perpendicular [MPa]	50x50x10	12
Arrancamento de parafuso - superfície [N]	150x75x10	12
Arrancamento de parafuso - topo [N]	115x65x10	12

## Procedimentos para produção das chapas.

Inicialmente os resíduos foram processados em moinho de facas, e depois da verificação da umidade, adicionaram-se 10% (base peso seco) de resina bicomponente PU-Mamona às partículas, misturando-se primeiramente o conteúdo correspondente a parte do polioli e em seguida, o conteúdo correspondente a parte do pré-polímero. Esse procedimento objetivou propiciar boa homogeneização da resina às partículas e minimizar os efeitos da reação de expansão [18]. A Fig. 1 ilustra a sequência no processo de preparação e homogeneização das partículas à resina.



Figura 1. (a) moinho de facas, (b) adição de uma parte de resina, (c) homogeneização manual, (d) homogeneização mecânica por 5 minutos em misturador de tambor.

De posse das partículas com adesivo, iniciou-se a sequência para preparação do colchão de partículas. Para preparação do colchão de partículas foi utilizada uma formadora de colchão nas dimensões de 400x400x10mm e empregou-se uma prensagem de 1MPa, objetivando-se propiciar a aproximação entre as partículas e conseqüentemente formação do colchão. A Fig. 2 ilustra a sequência para preparação do colchão de partículas.

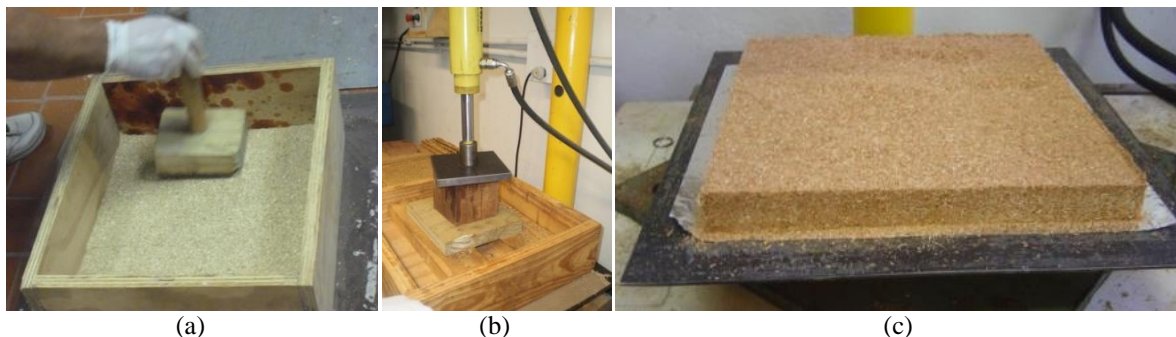


Figura 2. (a) acomodação das partículas no interior da formadora de colchão, (b) prensagem com pressão de 1MPa, (c) colchão de partículas pronto para ser prensado.

Em seguida foi realizado o procedimento para prensagem do colchão de partículas objetivando-se a obtenção das chapas aglomeradas. A prensagem foi realizada considerando-se um ciclo com tempo inicial de 3 minutos, alívio de pressão por 30 segundos, para eliminação de gases e evitar a formação de bolhas nos painéis; 7 minutos finais de pressão com temperatura de 110°C e pressão 5MPa. A Fig. 3 ilustra o processo de prensagem e conseqüente produção das chapas de partículas.

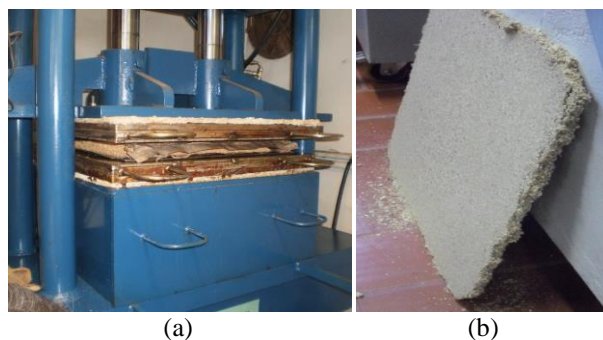


Figura 3. (a) Colchão de partículas entre os pratos da prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão, (b) chapa aglomerada logo após a prensagem.

### Resultados e discussão dos resultados

Inicialmente avaliou-se a granulometria de uma massa de partículas de 500g, objetivando-se verificar se as partículas se encontravam dentro da faixa de dimensão adequada para confecção das chapas, ou seja, entre 2mm a 6mm. A Tab. 2 apresenta os resultados do ensaio realizado.

Tabela 2. Análise granulométrica das partículas

	% Retida Acumulada								
Peneiras [mm]	0,75	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,50
Serragem [%]	99,19	97,62	93,51	78,38	48,00	12,35	0,42	0,00	0,00
Serragem [g]	7,90	20,69	76,13	152,85	179,39	60,01	2,12	0,00	0,00

Conforme evidencia-se na Tab. 2 a faixa granulométrica de partículas de 2mm a 6mm se apresentam retidas acumuladas nas peneiras com malhas de 1,19mm; 2,38mm e 4,76mm em percentuais de massa de 48,00%; 12,35% e 0,42%, respectivamente. Os valores obtidos possibilitam inferir que há necessidade de melhorar a distribuição granulométrica na faixa de 4mm e 6mm.

Considerando-se a distribuição granulométrica foram confeccionados os painéis conforme descrito na metodologia e realizados ensaios para avaliação da densidade, teor de umidade, inchamento e absorção após 2 horas de imersão, resistência à flexão e módulo de elasticidade, resistência à tração perpendicular e arrancamento de parafuso de superfície e de topo. A Tab.3 apresenta os valores médios obtidos.

Tabela 3. Valores médios de propriedades físicas e mecânicas das chapas e os valores mínimos exigidos pelos documentos normativos.

Propriedades	PU-Mamona	NBR	EN	CS
Densidade [ $\text{g/cm}^3$ ]	0,84	0,551 a 0,750	0,690	0,60 a 0,80
Teor de umidade [%]	6,75	5 a 11	5 a 13	-
Inchamento após 2 horas [%]	13,37	8	15 <sup>(3)</sup>	35
Absorção após 2 horas [%]	36,50	SR <sup>(1)</sup>	SR <sup>(1)</sup>	SR <sup>(1)</sup>
Módulo de resistência na flexão [MPa]	13,08	18	15	11,2
Módulo de elasticidade na flexão [MPa]	1841,77	SR <sup>(2)</sup>	2400 <sup>(4)</sup>	2450
Resistência à tração perpendicular [MPa]	1,32	0,40	0,35	0,49
Arrancamento de parafuso na superfície do cp [N]	1033,33	NA <sup>(2)</sup>	1200	2041
Arrancamento de parafuso no topo do cp [N]	895,33	NA <sup>(2)</sup>	SR <sup>(1)</sup>	-

<sup>(1)</sup> Sem referência, <sup>(2)</sup> Não aplicável para chapas aglomeradas com espessura na faixa de 10 mm, <sup>(3)</sup> Valor de Inchamento após 24 horas de imersão para painéis com espessura entre 25 mm a 32 mm, <sup>(4)</sup> Valor de MOE para chapas aglomeradas com espessura entre 25 mm a 32 mm.

Conforme se observa na Tab. 3 foram determinadas médias de densidades de  $0,84 \text{ g/cm}^3$ , esse valor é superior a densidade nominal estimada para confecção das chapas e superior aos valores que definem as chapas aglomeradas de média densidade de acordo com requisitos normativos [26, 27], conseqüentemente, em função dos valores de densidades obtidos os painéis confeccionados com PU-Mamona podem ser considerados como painéis de alta densidade.

A média dos teores de umidade das chapas foi de 6,75% e está em conformidade com os requisitos normativos [26, 28], entretanto, vale ressaltar que, em função do controle de umidade das madeiras pelas indústrias moveleiras, foi determinado teor médio de umidade para as partículas do resíduo de 8,63%. Considerando-se as características da resina PU-Mamona este teor de umidade é baixo e pode ter influenciado os valores obtidos para as propriedades físicas e mecânicas das chapas, pois, conforme descrito anteriormente, para este tipo de adesivo, teores de umidade em torno de 10% facilitam a homogeneização entre as partículas, melhora o fluxo do adesivo no interior da chapa e propicia maior adesão entre as partículas [18].

Estudos sobre o processo de fabricação de chapas aglomeradas descrevem que o teor de umidade das partículas em conjunto com a temperatura de prensagem proporciona maior “plasticização” das partículas de madeira e menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo da chapa, influenciando em suas propriedades [29, 30].

O valor médio de inchamento em espessura para 2 horas de imersão em água foi de 13,37%, este valor não atendente aos requisitos normativos da norma brasileira [26], entretanto, está de acordo com os padrões da norma européia [31], para painéis com espessura entre 25mm a 32mm, submetidos a ensaios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão e, de acordo com as exigências normativas da norma americana [32].

Nos estudos desenvolvidos em chapas produzidas com resíduos de pinus com 10 % resina PU-Mamona, verificou-se variação do inchamento em espessura na faixa de 9 a 14% para 2 horas de imersão [20] e de 12,38 e 23,51 % em chapas confeccionadas com 12 e 8 % de resina ureia-formaldeído (UF), respectivamente, empregando-se resíduos de eucalipto oriundos de serrarias [13].

O valor médio de absorção de água para 2 horas de imersão em água foi de 36,5%; mesmo não se verificando referências nas normas brasileiras, européias e americanas, com relação a esta propriedade, nos estudos realizados em chapas confeccionadas com resíduos de eucalipto oriundo de serrarias [13], foram determinados valores médios de absorção de água após 2 horas de imersão de 13,94 e 41,74% para painéis confeccionados com 12 e 8% de resina UF, respectivamente, ou seja, os valores determinados para as chapas confeccionadas com 10 % de resina PU-Mamona estão de acordo com os observados na literatura.

Considerando-se os valores obtidos para as propriedades de inchamento e absorção, vale ressaltar a influencia do teor de umidade das partículas, pois, conforme descrito anteriormente, o baixo teor de umidade pode ter provocado adesão entre as partículas com pequenos espaços vazios e conseqüentemente, facilitado maior fluxo de água no interior da chapa.



Com relação ao módulo de resistência à flexão (MOR), o valor médio obtido foi de 13,08 MPa, esse valor não atende as exigências da norma brasileira e européia [26, 33], entretanto, está em conformidade com norma americana [32], que estabelece valor médio de 11,2 MPa e ressalta-se que em análises realizadas em painéis confeccionados com partículas de *Grevillea robusta*, com emprego de resina UF nas proporções 6% e 8% [34]; foram determinados valores de MOR de 10,3 e 17,7 MPa, respectivamente.

Para o módulo de elasticidade à flexão (MOE), foi determinado valor médio de 1841,77 MPa; a norma brasileira [26] não faz referência para valores de MOE, entretanto, a norma européia [33] especifica valor médio, para painéis com espessura entre 25 a 32 mm, de 2400 MPa e a norma americana [32], define para painéis de partículas com densidade entre 0,60 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, valor mínimo de 2450 MPa, ou seja, o valor médio determinado para os painéis confeccionados com PU-Mamona e resíduos de indústrias moveleiras está abaixo dos valores preconizados pelas referidas normas. Entretanto, nos estudos para avaliação de chapas confeccionadas com resíduos de serraria [13], empregando-se 8 e 12% de resina UF, foram determinados valores médios de MOE de 1217,89 e 2305,56 MPa, respectivamente.

O valor médio da resistência à tração perpendicular determinado para os painéis deste trabalho, confeccionados com resíduo de indústrias moveleiras e emprego de 10% de resina PU-Mamona foi de 1,32 MPa, este valor é superior aos valores preconizados pela norma brasileira, americana e européias [26, 32, 35]. O valor obtido, provavelmente está relacionado à quantidade de partículas com comprimento entre 0,75 a 1 mm (em torno de 50 % da massa total), que provavelmente propiciaram maior força de adesão entre as partículas.

Nos ensaios de arranque de parafuso, deste estudo, foram determinados valores de 896 N para ensaios de topo e 1033 N para ensaios de superfície nas chapas confeccionadas com 10 % de resina PU-Mamona; a norma brasileira [26] não faz referência a esta propriedade na faixa de espessura das chapas deste estudo, entretanto, para chapas aglomeradas com espessuras entre 14 a 50 mm é preconizado valor mínimo de arranque de parafuso na superfície de 1020 N e segundo a norma européia [36] para chapas aglomeradas com espessuras entre 25 a 32 mm, valor mínimo de arranque de parafuso na superfície de 1200 N. Nos estudos sobre painéis confeccionados com *Eucalyptus grandis* e adição de casca de aveia, empregando resina PU-Mamona, foram determinados valores de arranque de parafuso de superfície que variaram de 450 a 1200 N e para arranque de parafuso de topo de 950 a 2350 N [8].

## Conclusão

Diante das avaliações realizadas e dos argumentos sobre os resultados obtidos, conclui-se que os painéis de partículas confeccionados com resíduos de indústrias de móveis, contendo 4 espécies de madeira e 10 % de resina poliuretana bicomponente de mamona é uma alternativa viável para produção de chapas aglomeradas. Além da contribuição ambiental o aproveitamento de resíduos possibilita agregar valor aos painéis que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil.

## Referências

- [1] Carlo, Eduardo de; POLITO, Wagner L. Desenvolvimento e caracterização de um poliuretano monocomponente baseado em óleo vegetal curado ao ar. Dissertação de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo; p.282. São Carlos; São Paulo; 2002.
- [2] Silva, S.A.M. et al, Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.43, n.8, p.1399-1404, ago, 2013.
- [3] Bertolini, M. S. Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservantes CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona. 128 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- [4] Iwakiri, S. Painéis de madeira reconstituída. Editora FUPEF, Curitiba - PR, 254p, 2005
- [5] Maloney, T.M. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 684p.,1993.
- [6] Moslemi, A.A. Particleboard: materials. London: Southey University Press, v.1, 244p. 1974.
- [7] Silva e Lahr, F.A.R. “Painéis de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade”. Livro: Reciclagem de resíduos para a construção civil. Editora da Universidade FUMEC - FEA. P. Capítulo 14, p. 343 - 365. Belo Horizonte - MG, 2007.
- [8] Varanda, L. D. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia. 155 p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- [9] Christoforo et al., Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena. 111-121 p. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339p. 2013.
- [10] Silva et al, Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com partículas de madeira tropical e poliuretana derivado de óleo de mamona. p91-110. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339p. 2013.
- [11] Nascimento et al., Viabilidade do emprego de *Eucalyptus* tratado com CCA e CCB na produção de painéis particulados de alta densidade.p57-89. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339p. 2013.
- [12] Informação obtida em <http://www.remade.com.br>, em: 10/11/2013.
- [13] Iwakiri, S. et al. Resíduos de serrarias na produção de painéis da madeira aglomerada de eucalipto. Scientia Agrária, v.1, n.1-2, p. 23-28, Editora UFPR. 2000
- [14] Silva et al., Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena. 111-121 p. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013.

- [15] Poletto et al, Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécies de reflorestamento. 1-22 p. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339 p. 2013.
- [16] Jesus, J. M. H. Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 106p. São Carlos, São Paulo, 2000.
- [17] Campos, C I. Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores. Tese de mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2005.
- [18] Silva. Aproveitamento de resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para a produção de chapas de partículas homogêneas, empregando-se resina poliuretana derivada de óleo de mamona. Pós-Doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas. LaMEM/EESC/USP, SC - SP. 2008.
- [19] Rocco, F. A. L. (Org.) Produtos Derivados da Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeiras, São Carlos, 2008.
- [20] Dias, F M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; p. 73-92. 2008.
- [21] Blecha et al., Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas.p111-121. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339 p. 2013.
- [22] Christoforo et al., Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena.p111-121. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP. 339p. 2013.
- [23] Silva e LAHR, F. A. R., Chapas de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade. Capítulo 14 do livro: Reciclagem de resíduos para a construção civil. Editora da Universidade FUMEC - FEA. 343-365 p. Belo Horizonte - MG. 2008.
- [24] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR NM 248 Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 6p. 2003.
- [25] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14.810-3. Painéis de Madeira Aglomerada - parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 39p. 2006.
- [26] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 14.810-2. Painéis de Madeira Aglomerada - parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 39p. 2006
- [27] European Committee for Standardization EN 323: Particleboards and fiberboards - Determination of density. Bruxelas. 1995.
- [28] European Committee for Standardization EN 322: Particleboards and fiberboards - Determination of moisture content to dry condition of the board. Bruxelas. 1995.

- [29] Matos, J. L. M. Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards.. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 164 p. 1988.
- [30] Weber, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. Dissertação de Mestrado - Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR. 87p. 2011.
- [31] European Committee for Standardization. EN 317: Particleboards and fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas. 1995.
- [32] Commercial Standard - CS 236-66. Material formed wood particleboard. [S.1.]. 1968.
- [33] European Committee for Standardization. EN 310: Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas. 1995.
- [34] Iwakiri et. al. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas - OSB. Cerne, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2004.
- [35] European Committee for Standardization. EN 319: Particleboards and fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas. 1995.
- [36] European Committee for Standardization. EN 311: Particleboards and fibreboards - Determination resistance starter screw surface of the board. Bruxelas. 1995.



- Artigo enviado - "International Journal of Composite Materials"

# Study of the Feasibility of "mix" of Species from Sawmill Waste and Limiting for Particleboard

Luciane Simal Alves<sup>1</sup>, Sérgio Augusto Mello da Silva<sup>1</sup>, Maximiliano dos Anjos Azambuja<sup>2</sup>, Luciano Donizeti Varanda<sup>3</sup>, André Luis Christoforo<sup>4\*</sup>, Decio Gonçalves<sup>5</sup>, Francisco Antonio Rocco Lahr<sup>5</sup>

<sup>(1)</sup> Department of Civil Engineering, Paulista State University, Experimental Campus of Ilha Solteira, Ilha Solteira, 15385-000, Brazil

<sup>(2)</sup> Department of Civil Engineering, Paulista State University, Experimental Campus of Bauru, Bauru, 17033-360, Brazil.

<sup>(3)</sup> Department of Science and Engineering Material, Engineering School of São Carlos (EESC/USP), São Carlos, 13566-590, Brazil.

<sup>(4)</sup> Department of Mechanical Engineering, Federal University of São João del-Rei, São João del-Rei, 36307-352, Brazil.

<sup>(5)</sup> Department of Structural Engineering, Engineering School of São Carlos (EESC/USP), São Carlos, 13566-590, Brazil.

**Abstract:** This study aims to determine physical properties of particleboard made of sawmill waste, as a mix of several wood species, and two adhesives: urea-formaldehyde, usually employed in industry (even with drawbacks or formaldehyde emission during pressing) and FASTBOND<sup>®</sup>, water based resin, still poorly referenced in literature. Sixteen panels have been produced, in four experimental conditions, defined by using two adhesives and a 12 mm thick limiter (or not). Variance analysis was adopted to evaluate influence of experimental conditions on physical properties of produced panels, manufactured in nominal dimensions 350x350mm; 10% resin related to particles mass (at 5% moisture); 3.5 MPa compaction pressure, temperature 130°C, in a 10 min cycle. Tests to determine density, moisture content, swelling and water absorption were carried out based on normative parameters of ABNT NBR 14810:2006. Results have been satisfactory to panels produced with urea-formaldehyde but those manufactured with polychloroprene based resin (FASTBOND<sup>®</sup>) not meet regulatory requirements. Best results have been obtained without limiter.

**Keywords:** Particleboards, wood waste, physical properties, analysis of variance.

## 1. Introduction

From reconstitution of wood waste, to obtain new products is possible and desirable, as composites like MDP (medium density particleboards) in different configurations [1].

MDP are conceptualized by Bertonili et al [2]; Iwakiri [3]; Maloney [4] and Moslemi [5] as panels produced with wood particles, by incorporating synthetic resins or other adhesives, consolidated through a cycle pressing, applying constant temperature and pressure.

MDP properties can be improved depending on particles size, volume and type of adhesive, pressure intensity, time and pressing temperature, as well as possible introduction of additives during manufacturing process [6].

It is estimated that 4% of Brazilian MDP production are intended for building construction industry and applied as floors, walls, light structural components and others [7].

However, according to latest data from Brazilian Association Panels Industry [8], MDP applications are focused in furniture industry (tops tables, side cabinets and so). Packaging industry is also a promising scenario, due to constant research projects aiming increasing properties that meet specific requirements [2].

The main factors driving MDP consumption are: search for alternatives to solid wood; possibility of obtaining products with low heterogeneity; technological modernization of industrial park; collaborative efforts with environment; and improvement in consumer income, which gave strong impetus to construction and furniture industries. [9]

In Brazil, forest-based industries generate an impressive amount of waste during operational phases, from logging until the final product [10]. According to Brito [11], lumber, veneer and plywood industries generate waste about 20.000.000 m<sup>3</sup>/year, in several shapes, representing more than 50% of original logs volume.

According to Feitosa [12], only 35% of each log are

\* Corresponding author: alchristoforo@yahoo.com.br (André L. Christoforo)

Published online at <http://journal.sapub.org/ijme>

Copyright © 2012 Scientific & Academic Publishing. All Rights Reserved

processed into sawn products and 65% are wasted. Carneiro [13] observed that wastage per trunk of wood processing industries is around 60%. This author also reports that some companies even have wastage 80% per trunk, exacerbated value, considering the current environmental concerns and economic exploitation.

Iwakiri [10] asserts that a substantial part of waste from wood processing of wood is used to generate energy for industrial and domestic purposes. However, despite its social benefits, this usage aggregates very little value to final product, requiring alternative ways to use this waste. Utilization of waste from sawmills to produce MDP is an interesting option to lead higher added value products.

The author [10] also investigated feasibility of using *Eucalyptus maculata*, *E. grandis* and *E. tereticornis* residues to produce MDP, employing urea-formaldehyde resin. Test results indicated that the studied panels showed physical and mechanical properties equivalent to those with some benchmark species as *Pinus elliottii*, *Mimosa scabrella* and *E. dunnii*.

Urea-formaldehyde resin has wide application in wood based industry worldwide. In over 90% of wooden panels manufacturing, this resin is used because of its lower cost compared to other available adhesives [1].

According to Dias [14] urea-formaldehyde resin requires high temperatures (over 180°C) to complete chemical reactions. Currently companies have been compressing at 200°C, since they have been working with a low formaldehyde volatiles emission urea.

Lessmann [15] states that there has been an increasing action from environmentalists and users for low formaldehyde emission panels. This has aroused interest in urea-formaldehyde resins chemistry, while there have been technology searches and improvement of such resin.

Silva and Lahr [16] evaluated MDP production with homogeneous particles of low and medium density Amazonian species (*Erismia uncinatum*, *Nectandra lanceolata* and *Erismia sp.*). Panels have been fabricated with a 10 mm thickness nominal; 0.75g/cm<sup>3</sup> density nominal; 10% of castor-oil based bi-component polyurethane resin; particles 0.02 mm to 6 mm long; 90°C temperature; intensity pressure 4 MPa; 10 minute cycle. Evaluations, in accordance with code NBR14810: 2002, showed that *Nectandra lanceolata* panels meet code

requirements.

Considering possibility of using sawmill residues materials and alternative resins, this study aims to evaluate feasibility of producing MDP in such conditions that code requirements to physical properties are obeyed.

## 2. Material and Methods

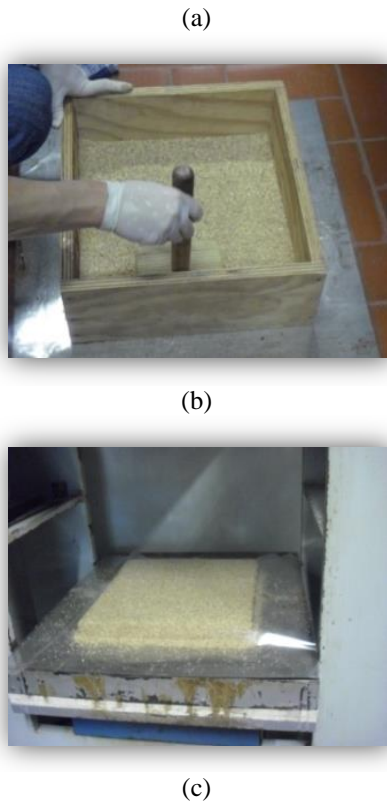
Particles obtained from waste of sawmills in São José do Rio Preto, northwest of São Paulo State, Brazil, were used. According to the suppliers, they came from wood species: Tauari (*Couratari sp.*); Cupiúba (*Goupia glabra*); Garapa (*Apuleia leiocarpa*); Cambará ou Cedrinho (*Erismia uncinatum*).

Particle sizes, reduced using a knife mill (Figure 1a), resulted in a range from 2 to 6 mm, as stated by (17; 18; 19). Placed in a greenhouse, they reached approximately 5% moisture content, required to bonding procedures.

Two adhesives were used: (a) urea formaldehyde resin (pH 7.8 to 8.2; solids content of 60% -66%, based catalyst with ammonium sulfate) and (b) polychloroprene based resin (density from 1.07 to 1.11 g.cm<sup>-3</sup> and 47-51% solids). Resin (a) was chosen because is the most employed in MDP industry; resin (b) was elected once studies about its performance aren't available in technical literature.

Resins were incorporated to particles using mechanical mixing for 10 min in a cylindrical drum. Mixture was then placed in a mold, called forming mattresses (Figure 1b), followed by a pre-pressing (about 0.05 MPa) for initial particles cohesion. Subsequently, mold was removed and the material directed to a hydraulic press (Figure 1c) at a temperature of 130° C and 3.5 MPa pressure, as recommended by (20;21). In this step, some panels were placed in metal thickness side limiters.





**Figure 1:** Knife Mill (a); Forming mattress (b); and hydraulic press (c).

Compression cycle consisted of a 3 min initial pressing, pressure relief for 30 seconds (for gases removal and, thereby, to minimize bubbles formation in panels) and 6min30s of final pressure. Temperature and pressure at all stages of pressing were held constant.

This procedure was used for manufacturing the sixteen panels 16, nominal density of 0.75 g.cm<sup>-3</sup>, nominal dimensions 350x350mm, 10mm thickness

Parameters used for making plates and physical tests of density, moisture absorption and swelling, were established in ISO 14810:06 [22].

Physical properties investigated were: density ( $\rho$ ); thickness swell in 2 (I-2h) and 24 hours (I-24h); water absorption in 2 (A-2h) and in 24 hours (A-24h); moisture content (TU), obtained according to the assumptions and calculation methods of ABNT NBR 14810:06 [22].

For treatments were adopted as showed in Table 1.

**Table 1:** Treatments studied.

Treatments	Type of adhesives	Thickness limiters
1	Urea formaldehyde (UF)	Without
2	Urea formaldehyde(UF)	With
3	Polychloroprene(FB)	With

Statistical analysis was performed as follow detailed.

ANOVA was evaluated at the 5% significance level, consisting of the equivalence of means between treatments as null hypothesis ( $H_0$ ) non-equivalence as the alternative hypothesis ( $H_1$ ). P-value less than the significance level implies to reject  $H_0$  and accept it otherwise.

To validate the analysis of variance, Anderson-Darling test was applied to verify the normality of data distribution and F test, Bartlett's and Levene's test for assessment of homogeneity of variances among treatments. For both tests, significance level was set at 5%. In Anderson-Darling test, null hypothesis was to assume normal distributions, non-normality as alternative hypothesis. P-value greater than significance level  $H_0$  involves accepting, rejecting it otherwise. For F tests, Bartlett and Levene null hypothesis assumed was the equivalence of variances between treatments, non-equivalence as alternative hypothesis. P-value greater than significance level involves accepting  $H_0$ , rejecting it otherwise. For the one-factor ANOVA and two levels (with and without the use of limiter), accused significance, the best response for treatment was evidenced by main effects plots, and ANOVA with three levels (treatments 1, 2 and 3), accused significance, the best response for treatment was evidenced by the contrast test of Tukey.

### 1. 3. Results and Discussions

Tables 2 to 4 show the results of mean values ( $\bar{x}$ ) and coefficients of variation (CV) investigated the physical properties for each of three treatments adopted.



**Table 2:** Physical properties of panels manufactured with UF resin without limiter (T1).

<b>Statistics</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	0.74	5.40
Cv(%)	5	10
<b>Statistics</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	16.19	16.24
Cv(%)	13	11
<b>Statistics</b>	<b>A-2h (%)</b>	<b>A-24h (%)</b>
$\bar{x}$	68.27	64.19
Cv(%)	6	8

**Table 3:** Physical properties of panels manufactured with UF resin with the limiter (T2).

<b>Statistics</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	0.71	5.74
Cv(%)	6	8
<b>Statistics</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	18.29	20.27
Cv(%)	10	10
<b>Statistics</b>	<b>Statistics</b>	<b>A-24h (%)</b>
$\bar{x}$	66.01	74.35
Cv(%)	6	4

**Table 4:** Physical properties of panels manufactured with FB resin without limiter (T3).

<b>Statistics</b>	<b><math>\rho</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>TU (%)</b>
$\bar{x}$	1.03	4.32
Cv(%)	7	11
<b>Statistics</b>	<b>I-2h (%)</b>	<b>I-24h (%)</b>
$\bar{x}$	60.00	64.28
Cv(%)	17	18
<b>Estadísticas</b>	<b>A-2h (%)</b>	<b>A-24h (%)</b>
$\bar{x}$	83.15	90.81
Cv(%)	13	11

According to NBR 14810:06 [22], medium density particleboard is classified in the range 0.551 to 0.750 g/cm<sup>3</sup>. Results in this work panels with UF resin reached apparent densities averaged between 0.710 and 0.740 g/cm<sup>3</sup> (medium density) and those manufactured with FB resin presented mean density of 1.03 g/cm<sup>3</sup> (high density).

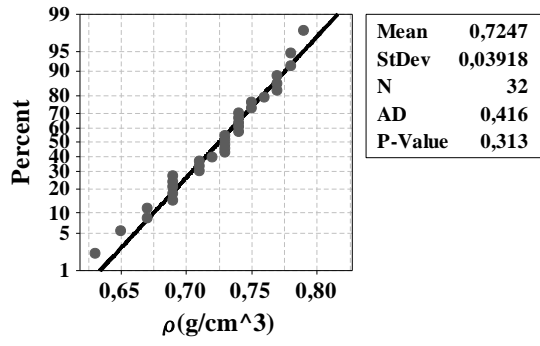
Mean results obtained in test after 2 hours of swelling in all samples were set up as a parameter (8%) by NBR 14810:06 [22]. However, it is noteworthy that normative parameters are related to industrial panels employing urea-formaldehyde resin and particles of pine and / or eucalyptus, with pressing temperatures over 150°C.

Values of swelling after 24 hours (I-24); water absorption 2h (AA-2h) and 24h (AA-24) respectively ranged from 16.24 to 64.28%; from 66.01 to 83.15%; and 64.19 to 90.81%, respectively. NBR 14810:06 [22] does not specify values for these tests. However, Iwakiri study [10] with waste from sawmills, the average swelling 24 hours, water absorption for 2 h and 24 h immersion in water, respectively, ranged from 23.51 to 38.81%; from 13.94 to 41.74% and from 37.37 to 58.80%. In research conducted by Iwakiri et al. [23], for panels of Pinus (*Pinus sp*), Bracatinga (*Mimosa scabrella*) and mixing these species, mean values were in the range from 23.87 to 53.41% for I-24; from 41.31 to 98.96% for AA-2h; and from 60.98 to 106.65% for AA-24h. Therefore, behavior of panels produced in this study was compatible in comparison with these authors.

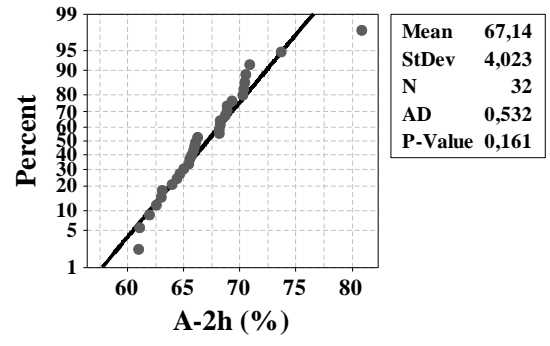
It is believed that increasing the specific surface area of the particles due to the decrease of the particle crushing and use waste which contains different types of wood have been factors which influenced these results. The kind the adhesive may also have interfered in the cited parameters, once specimens with water-based adhesive resulted in nearly three times higher percentage. Press temperature can also influenced values.

Average moisture content obtained for panels made with UF resin was 5.57%, within the range recommended by NBR 14810:06 [22] of 5% to 11%. Panels with FB resin water presented 4.32% moisture content, therefore, slightly below the level indicated by the code.

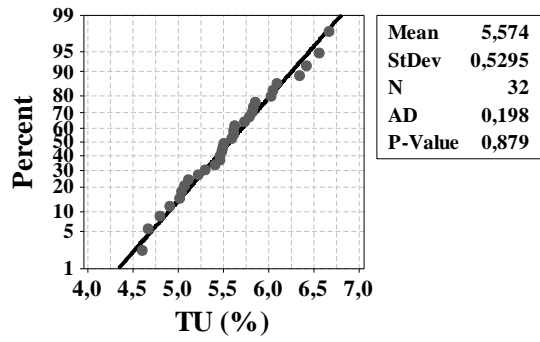
Figures 2 and 3 show results of tests of normality and variance homogeneity, respectively. By P-values obtained for all responses were above significance level set, normality and homogeneity of variances among treatments were confirmed, validating ANOVA model.



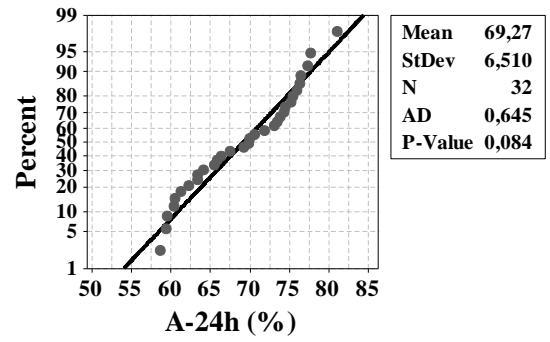
(a)



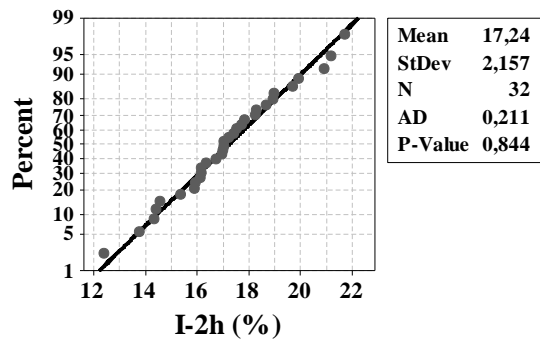
(e)



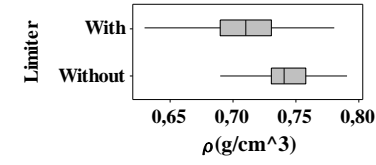
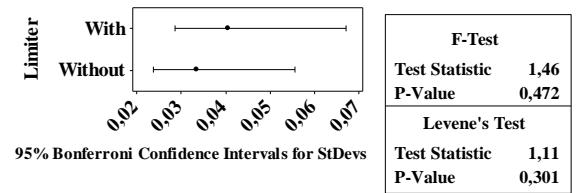
(b)



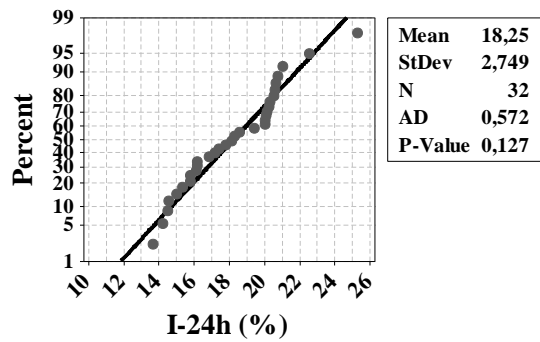
(f)



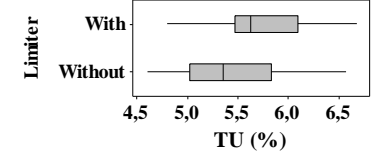
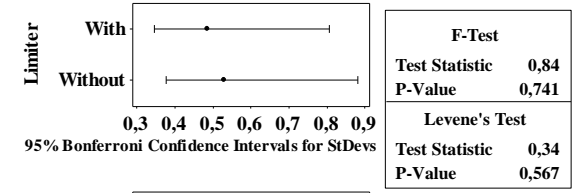
(c)



(a)



(d)



(b)

Figure 2: Results of normality test for physical properties.

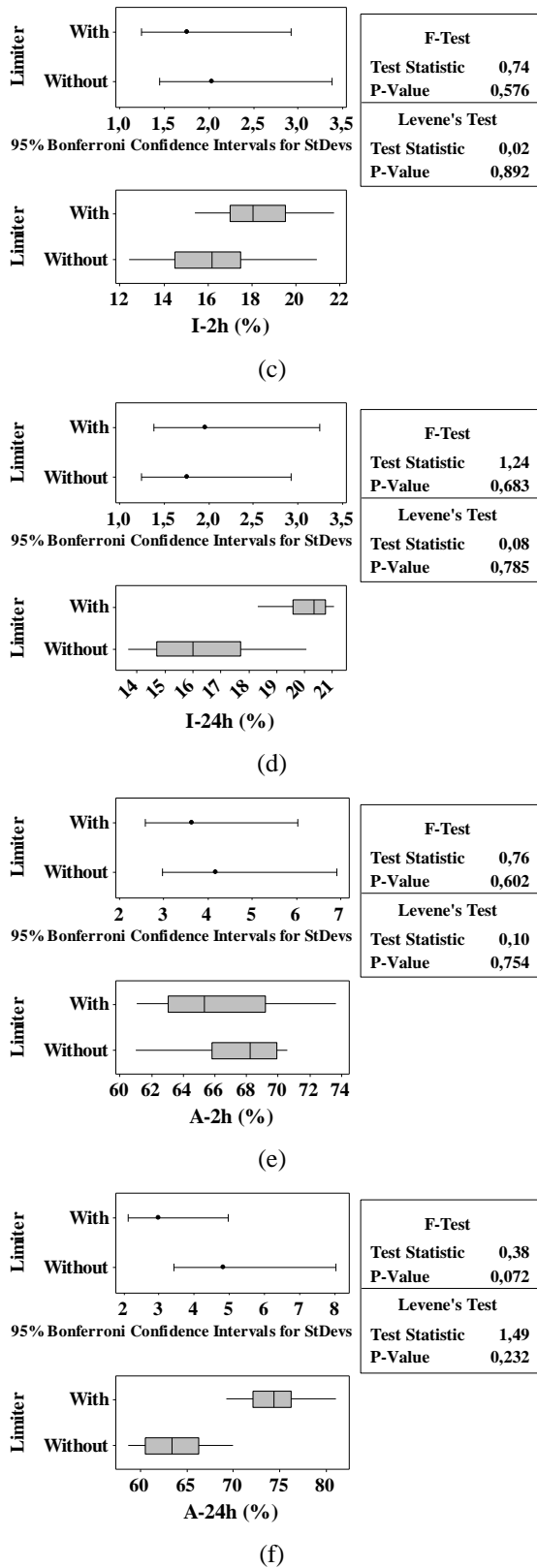


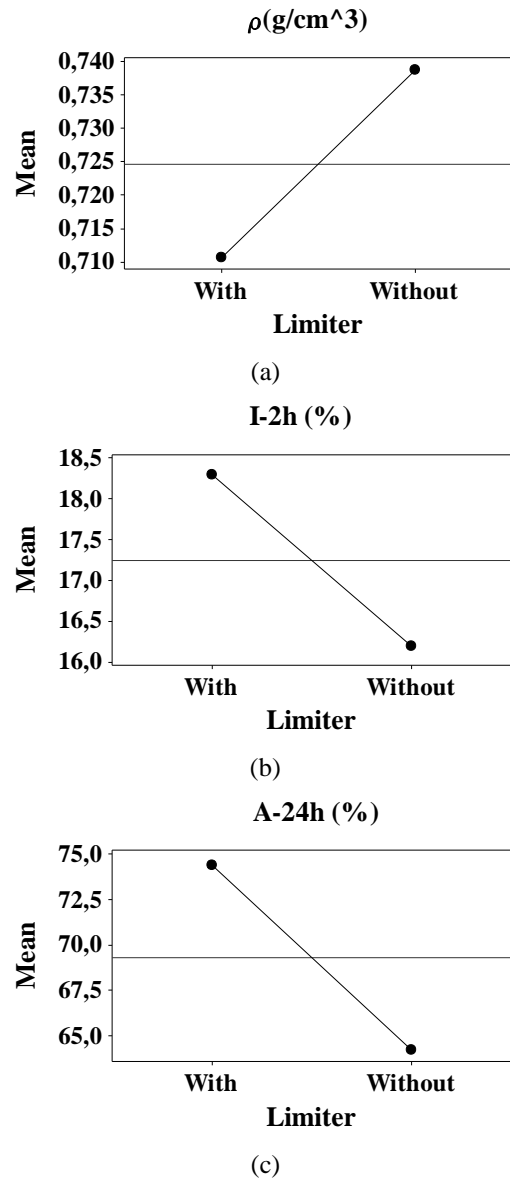
Figure 3: Results of tests for variances homogeneity for physical properties.

Table 5 shows results of ANOVA concerning to the influence of using limiter in panels production (with or without) in physical properties of panels made with UF resin. Underlined P-values are considered significant. Note that GL denotes degrees of freedom of variance.

Table 5: Results of ANOVA: influence of using limiter.

Response	GL	P-value
P	31	<u>0,040</u>
TU	31	0,070
I-2h	31	<u>0,004</u>
I-24h	31	<u>0,000</u>
A-2h	31	0,114
A-24h	31	<u>0,000</u>

Figure 4 shows the graphs of main effects of ANOVA for responses significantly influenced by limiter inclusion.



**Figure 4:** Graphics of ANOVA main effects for the factor: use of the limiter.

Results in Table 5 show that the use of limiter is significant for density, thickness swelling after 2 hours and water absorption after 24 hours. Similar results (with or without coupling) were obtained for the three other physical properties of interest. Using limiter is responsible for increasing panels density (4%) and decrease in thickness swelling in two hours and water absorption after 24 hours (12 and 14%, respectively), when compared with the results of panels manufactured without limiter.

Table 6 shows results of ANOVA concerning to the influence on the physical properties of the boards manufactured by the choice of treatment with the test results of normality and homogeneity of variance. As seen in Table 5, the P-values are considered significant by analysis of variance in Table 6 are also underlined. By P-values obtained for all responses were above the significance level set, is found the data normality and homogeneity of variances among treatments, validating the model ANOVA.

**Table 6:** Results of ANOVA: influence of using limiter.

	<b>P-valor (A.-Darling)</b>	<b>P-valor (Bartlett)</b>	<b>GL</b>	<b>P-valor</b>
$\rho$	0,178	0,083	47	<u>0,000</u>
TU	0,601	0,860	47	<u>0,000</u>
I-2h	0,093	0,078	47	<u>0,000</u>
I-24h	0,236	0,372	47	<u>0,000</u>
A-2h	0,156	0,249	47	<u>0,000</u>
A-24h	0,328	0,592	47	<u>0,000</u>

Table 7 presents results of Tukey test for the physical properties considered significant by ANOVA. Equal letters implies in treatment with equivalent averages.

**Table 7:** Results of Tukey test for the best treatment response.

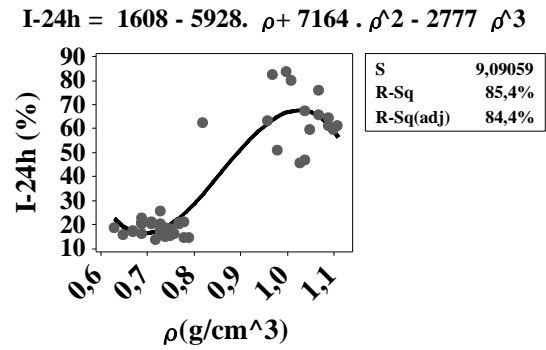
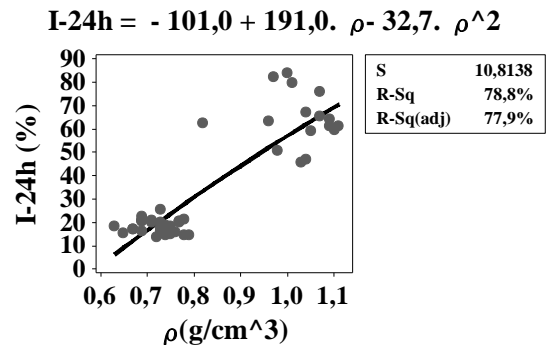
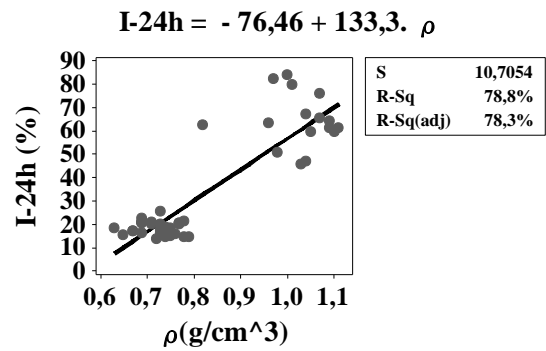
<b>Treatments</b>	<b>Groupings</b>		
	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
$\rho$	B	B	A
TU	A	A	B
I-2h	B	B	A
I-24h	B	B	A
A-2h	B	B	A

A-24h      C      B      A

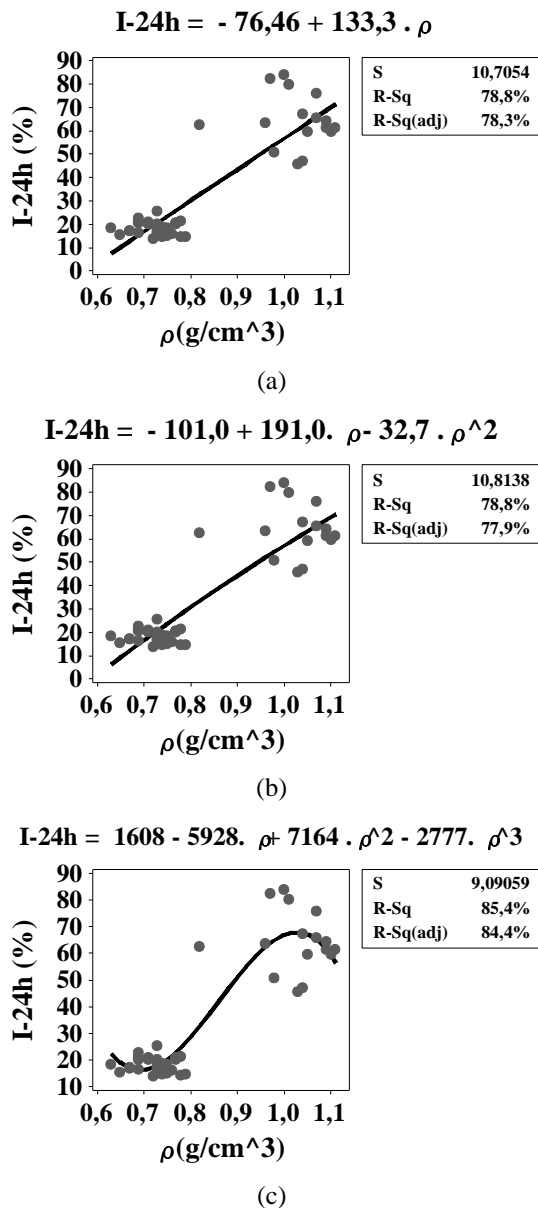
---

Panels showed different behaviors. Highest values of density and lower values of moisture content were obtained to panels produced with FB resin (T3). For thickness swelling (after 2 and 24 h) and water absorption (after 2 h), the lowest values were derived from panels made with UF resin (T1 or T2). Water absorption (after 24 h) to panels made with UF resin without limiter (T1) showed the best results.

Figures 4 and 5 illustrate results of the regression models to thickness swelling (after 24 h) and water absorption (after 24 h) versus density, respectively.



**Figure 4:** Results of linear regression models (a), square (b) and cubic (c) to thickness swelling (after 24 h) versus density.



**Figure 5:** Results of linear regression models (a), square (b) and cubic (c) to water absorption (after 24 h) versus density.

The adjusted coefficients of determination ( $R^2$  adj) for both relations and for the three regression models investigated were all above 70%, resulting in good approximations. Among the adjustments considered, the polynomial of degree three presented the best results because its highest values of  $R^2$  Adj, with the smallest coefficient of variation of ANOVA regression model [18.26%]. This turns possible to estimate swelling and water absorption (after 24 h) of the

boards manufactured with knowledge of the density by means of equation showed in Figures 4th and 5th, respectively.

## 4. Conclusions

Variables studied in this work, as the "mix" of wood species, use (or not) of thickness limiter, particles processing in a knife mill, pressing temperatures, may have been factors that influenced the changed values in relation to the codes recommendations adopted.

Treatment 1 (UF resin without limiter thickness) showed the best results in the parameters analyzed in this study, while non-use of the limiter is more favorable to the panel.

By means of statistical work, it was found that it is possible to estimate efficiently swelling and water absorption after 24 hours of the boards manufactured by means of polynomials of degree three, requiring only the density value.

In general, particleboards evaluated in this paper serve as base parameters to investigate, in further researches, how improving characteristics of products like those here analyzed.

## REFERENCES

- Iwakiri, S. Reconstituted wood panels. Curitiba: FUPEF, Vol unique third edition, p. 3-5, 2005.
- Bertolini, M. of S., Rocco, F. A. L.; Agnelli, J. A. M., Artificial aging accelerated particle boards produced with waste treated Pinus sp CCB and castor oil based resin, 2012.
- Iwakiri, S., et al. Production of chipboard panels with high densification different types of resin. Scientia Forestalis. n. 68. p39-43, Aug 2005.
- Maloney, T.M. Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing. 2.ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 684p.
- Mosmeli, A.A. Particleboard: materials. London: Southem University Press, 1974. v.1, 244p.
- Isaia, G., C. (Ed.), Materials of construction and principles of materials science and engineering, 2. Ed São Paulo, Ibracon, 2010. 2v.
- Brazilian Association of the Wood Panels - ABIPA 2009. Scenario Industry Panels. 8th Meeting Chair Productive Wood and Furniture. 2009. Available at: <<http://www.cgimoveis.com.br/mercado/documento.2009-11-06.3011537550/>>. Accessed on: July 7, 2013.

- Association of the Manufacturers of Wood Panels - ABIPA (2012). Available at: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Accessed on: August 11, 2012.
- Mattos, R. L. G., Gonçalves, R. M.; Chagas, F. B. Wood paneling in Brazil: Overview and perspectives. Sector BNDES, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, March 2008.
- Iwakiri, S., Cunha, A., B., Albuquerque, C., E., C.; Gorniak, E., Mendes, L. M. Waste from sawmills in the production of plywood panels of eucalyptus. *Scientia Agriculture*, v.1, n.1-2, p. 23-28, 2000. Publisher UFPR.
- Brito, E. O. Estimation of waste production in the Brazilian sawmill and wood lamination. *Wood Magazine*, Caxias do Sul, v.26, p.34-39, 1996.
- Feitosa, B. C. Utilization of wood waste in Para 2008. Available at: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=114&id=12741](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=114&id=12741)>. Accessed: 10/11/2013.
- Carneiro, M., S., Production process waste in five timber in the municipality of Paragominas-PA. 2006. 65 p. Completion of course work submitted for the undergraduate course of Agroindustrial Technology, University of the State of Pará, Paragominas.
- Dias, F. M. Application of polyurethane resin based on castor oil in the manufacture of chipboard panels. Wood products: summary of the work developed in the Laboratory of Wood and Timber Structures, SET-EESC-USP. San Carlos: School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, 2008, p. 73-92.
- Lessmann, V., E. Study curing reaction of urea-formaldehyde resins by nuclear resonance spectroscopy. Master's thesis. Graduate Program in Chemistry, Federal University of Paraná, UFP. Curitiba, 2008.
- S. Silva, F. The Rocco Lahr, "Plates of particles made of tropical wood waste with low density." Book: Recycling waste for building. Publisher University WSCF. Chapter 14, p. 343-365. Belo Horizonte (MG), 2007.
- Silva, S. A. M.; Christoforo, A. L.; Filho, S. L. M. R.; Varanda, L. D.; Lahr, F. A. R., Particleboard Manufactured with Bicomponent Polyurethane Resin Base on Castor Oil. *International Journal of Composite Materials*, 2 (6): 115-118, 2012.
- Dias, M. F.; Nascimento, M. F.; Espinosa M. M.; Lahr F. A. R.; Valarelli, I. D., Relation between the Compaction Rate and Physical and Mechanical Properties of Particleboards. *Material Research*, vol. 8, 2005.
- Poleto, S. F. S.; Varanda, L. D.; Nascimento, M. F.; Chistoforo, A. L.; Lahr, F. A. R., Evaluation of the Mechanical Properties of Particleboards Manufactured with Waste of Pinuselliottii Tree Pruning. *Intenational Journal of Composite Materials*, 3(3): 56-60, 2013.
- Silva, S. A. M.; Christoforo, A. L.; Panzera, T.H.; Almeida, D. H.; Segantini, A. A. S. S.; Lahr, F. A. R., Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.43,n.8,p.1399-1404,ago,2013.
- 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.
- Brazilian Association of Technical Standards - ABNT NBR 14810: plywood plates - Part 2: Requirements; - Part 3: Methods. Rio de Janeiro, 2006.
- Iwakiri, S.; Lotorraca, J. V. F., Silva, D. A.; Gabardo, J. L.; Klitzke, R. J.; Fofano Junior, A.; Fabrowski, F.; Interamense, M. T. Platemaking particle chipboard Pinus elliottii (Engelm) and Eucalyptus dunnii (Maid). *Journal of Agricultural Sciences Sector*, Curitiba, v.15, n.1, p.33-41, 1996.

## ANEXO D

- **Aceite – “XIV Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira”**

Estimado(s) Autor(es),

A Comissão Organizadora do XIV EBRAMEM tem a grande satisfação de lhes informar que o seu Resumo foi aceito, cujos código e título são:

**EBRA14-PEM-176 - CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADAS HOMOGÊNEAS  
CONFECCIONADAS COM RESÍDUO DO PROCESSAMENTO DE EMPRESAS  
MADEREIRAS DE SÃO JOSÉ DO REIO PRETO**

Aguardamos o envio do Artigo Completo até o dia 15.dez.2013 e informamos que o *template* se encontra no site do evento: <http://www.14ebramem.ct.ufrn.br>.

**Solicitamos que os senhores também nos enviem, até o dia 15.dez, as suas FICHAS CADASTRO (vide arquivo no site)!  
Agradecemos aos que já o fizeram.**

Encontramo-nos em Natal!

Cordiais cumprimentos,

Coordenação Geral do XIV EBRAMEM  
Profa. Dra. Edna Moura Pinto (UFRN)

Coordenação Científica do XIV EBRAMEM  
Prof. Dr. Everaldo Pletz (UEL) e Profa. Dra. Núbia dos Santos Saad (UFU)

- **Artigo enviado -“XIV Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira”**

XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira  
28-30/Abril, 2014, Natal, RN, Brasil




---

**CONFECÇÃO E AVALIAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA  
HOMOGÊNEAS EMPREGANDO-SE RESÍDUOS DE EMPRESAS MOVELEIRAS DE SÃO  
JOSÉ DO RIO PRETO E POLIURETANA DERIVADA DE ÓLEO DE MAMONA.**

<sup>1</sup>Luciane S. Alves ([lusimal@gmail.com](mailto:lusimal@gmail.com)), <sup>2</sup>Sérgio A. Mello da Silva ([sams@dec.feis.unesp.br](mailto:sams@dec.feis.unesp.br))

<sup>1,2</sup>Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira  
Departamento de Engenharia Civil - Al. Bahia, 550 - Ilha Solteira/SP - CEP.:15385-000.

**RESUMO:** Indústrias de móveis de São José do Rio Preto - SP enfrentam dificuldade no descarte de resíduos, uma parte destes é utilizada na geração de energia ou depositada a céu aberto. Considerando-se a disponibilidade destes resíduos, foram confeccionadas e avaliadas chapas aglomeradas empregando-se resina poliuretana de mamona (PU-Mamona). Resíduos de cinco espécies de madeiras da Amazônia foram coletados em indústrias de móveis e processados em moinho de facas. As chapas foram compactadas com de 5 MPa, 110<sup>0</sup>C, 10% de PU-Mamona, densidade nominal de 0,8 g/cm<sup>3</sup> e partículas com 8,63% de umidade. Para avaliação das chapas utilizou-se a ANBNT NBR14810(2006), normas européias: EN310, EN319, EN323 (1995) e a norma americana CS 236-66/1968. Os valores médios determinados foram: Densidades (0,84 g/cm<sup>3</sup>), Umidade (6,75%), Inchamento após 2 horas (13,37%), Modulo de Resistência à Flexão (13,08 MPa), Módulo de Elasticidade na Flexão (1841,77 MPa) e Resistência a Tração Perpendicular (1,32 MPa). Os valores determinados indicam a possibilidade de produção de chapas aglomeradas com os referidos resíduos e resina.

**Palavras Chave:** chapas aglomeradas, poliuretana de mamona, aproveitamento de resíduo.

**FABRICATION AND EVALUATION OF HOMOGENEOUS PARTICLEBOARD USING UP  
WASTE OF FURNITURE INDUSTRIES SAO JOSE DO RIO PRETO AND  
POLYURETHANE DERIVED CASTOR OIL.**

**ABSTRACT:** Furniture Industries of São José do Rio Preto - SP face difficulty in waste disposal, one of these is used in power generation or deposited in the open. Considering the availability of these residues, were prepared and evaluated particleboards bonded employing castor oil polyurethane (PU - castor oil). Residues of five species of Amazonian wood were collected in furniture industries and processed in a Wiley mill. The particleboards were compressed to 5 MPa, 110<sup>0</sup>C, 10% PU - Castor oil, nominal density of 0,8 g/cm<sup>3</sup> and a particle 8,63% humidity. To review the particleboard used to ANBNT NBR14810(2006), European standards: EN310, EN319, EN323 (1995) and American Standard CS 236-66/1968. Mean values were determined: density (0,84 g/cm<sup>3</sup>), humidity (6,75%), swelling after 2 hours (13,37%), Module resistance to bending (13,08 MPa) Modulus of Elasticity in Bending (1841,77 MPa) and Tensile Strength Perpendicular (1,32 MPa). These values indicate the possibility of producing particleboards with such waste.

**Key words:** particleboard, polyurethane castor oil, use of waste



## INTRODUÇÃO

A preocupação com a necessidade de preservação dos recursos naturais leva a sociedade mundial à procura de meios de produção, distribuição e consumo dos recursos existentes de forma coesiva, economicamente eficaz e ecologicamente correta. Neste contexto, estão inseridos os painéis de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos oriundos da indústria moveleira, o que agrega valor a este recurso secundário e abundante.

Uma questão ambiental em termos dos insumos aplicados em painéis a ser considerada, refere-se à origem dos adesivos. A resina PU-Mamona, de acordo com CARLO (2002), é oriunda de um produto renovável e emite gases não nocivos ao homem durante o processo de fabricação dos painéis, o que representa uma alternativa para a industrialização destes produtos em substituição aos adesivos à base de formaldeído, usualmente empregados na produção de painéis de madeira, que apresentam o inconveniente de liberar formol durante o a fabricação dos painéis.

Um número considerável de estudos tem sido desenvolvido no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos madeireiros, principalmente Pinus e Eucalipto na produção de painéis de partículas, porém, a utilização dos rejeitos com mistura de diversas espécies de madeiras e emprego de resina em substituição à ureia formaldeído, tem sido pouco explorada.

Este trabalho apresenta um estudo sobre o aproveitamento de resíduos oriundos de indústrias moveleiras da região de São José do Rio Preto – SP e emprego de resina poliuretana à base de mamona para consolidação dos painéis. O resíduo coletado foi tratado utilizando-se moinho de facas para adequação de sua forma e granulometria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Os aglomerados são conceituados por SILVA et al (2013a), BERTOLINI (2011), IWAKIRI (2005a), MALONEY (1993) e MOSLEMI (1974) como painéis produzidos com partículas de madeira, incorporando-se resinas sintéticas ou outros adesivos, consolidados por meio de um ciclo de prensagem, aplicando-se temperatura e pressão constantes.

Os parâmetros de fabricação propiciam vantagens aos aglomerados com relação aos outros compostos de madeira, bem como à madeira serrada, conseqüentemente, vários pesquisadores tem estudado como melhorar as propriedades dos painéis, como Iwakiri (2005a), SILVA e LAHR (2007b), VARANDA (2012), CHRISTOFORO et al (2013), SILVA et al (2013c), NASCIMENTO et al (2013), entre outros.

Dentre as principais vantagens dos painéis destaca-se a redução dos efeitos da anisotropia, eliminação de aspectos redutores da resistência, possibilidade de alteração das propriedades físico-mecânicas por meio do controle das variáveis do processo, como a resina, a geometria das partículas, o grau de densificação, o tempo e temperatura de prensagem, etc; menos exigências quanto ao diâmetro das toras, forma do fuste e defeitos; possibilidade de reaproveitamento de resíduos na produção; menor custo de produto e mão de obra.

### Resíduos de empresas moveleiras

NASCIMENTO et al (2013) afirmam que a indústria moveleira é uma das maiores responsáveis na geração de resíduos e segundo FEITOSA (2008) apenas 35% de cada tora são transformados em produto serrado, os outros 65% são desperdiçados, transformados em resíduos não aproveitados pela indústria.

IWAKIRI et al (2000b) aponta que uma grande parte de resíduos provenientes de processamento mecânico da madeira é utilizada na geração de energia para fins industriais e domésticos. No entanto, apesar dos benefícios sociais, esta forma de utilização agrega pouco valor ao produto final, além do que, propicia a geração de gases decorrentes da combustão da madeira. Neste sentido, a produção de painéis de madeira aglomerada é

uma forma alternativa de utilização viável e adequada dos resíduos de indústrias moveleiras e uma opção promissora para se obter um produto de qualidade.

### **Aspectos sobre a resina poliuretanas à base de mamona**

Segundo SILVA et al (2013c) o surgimento das resinas poliuretanas derivadas de óleo de mamona, foi motivado pela proposta de utilização de produtos biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa.

O primeiro adesivo bicomponente derivado do óleo de mamona, conhecido internacionalmente como “*Castor Oil*”, foi desenvolvido pelo Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo e é constituído do polioli (líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente) e um pré-polímero (polímero com polimerização incompleta), que ao serem misturados originam uma poliuretana. Como esta reação ocorre por meio de mistura, pode-se variar a porcentagem dos mesmos, resultando em poliuretanas com maior ou menor rigidez e/ou maior ou menor flexibilidade, de acordo com SILVA et al (2013d) e POLETO et al (2013) é um adesivo que cura a frio e esta pode ser acelerada sob ação de temperatura.

O emprego das resinas oriundas da mamona para a produção de chapas de partículas representa uma inovação tecnológica, pois, como evidenciado em estudos de JESUS (2000), CAMPOS (2005), SILVA (2007e), ROCCO (2008), DIAS (2008), SILVA et al (2013c), BLECHA et al (2013), entre outros, esta resina confere resultados físicos e mecânicos satisfatórios nas chapas, além de características impermeabilizantes e a vantagem de não apresentar emissão de formol.

### **Trabalhos com temas correlatos**

POLETO et al (2013), analisaram a viabilidade de fabricação de painéis de partículas homogêneas a partir de resíduos de *Eucalyptus grandis* e casca de *Pinus elliottii*, utilizando como adesivo a resina poliuretana à base de mamona. Foram produzidas 5 chapas de resíduos de *Eucalyptus grandis* e 15 chapas da combinação entre os resíduos, nas proporções de 70%, 50% e 30% (em peso), de um total de 100% de resíduos. Os resultados da análise físico-mecânica das chapas apontam para a viabilidade técnica da produção dos painéis com ou sem adição da casca de *Pinus elliottii*, para emprego como componentes da edificação e na indústria moveleira.

SILVA et al (2013c), avaliaram o emprego de partículas de madeiras tropicais para confecção de chapas aglomeradas para aplicação como componentes da edificação e na indústria moveleira. Foram utilizadas partículas de *Cordia goeldiana* (Freijó), *Leucaena leucocephala* (Leucênea), *Ficus insípida* (Figueira Branca), *Ceiba pentandra* (Paineira), empregando-se 10% (base peso seco) de resina poliuretana monocomponente e bicomponente derivada de óleo de mamona. Valores de densidades aparentes foram comparadas e avaliadas pelo método de análise estatística de Tukey, permitindo concluir que as variações das densidades aparentes das chapas estão dentro dos limites de variabilidade admissíveis pelo método de análise empregado e conclui-se que é possível produzir chapas com teores de resina inferiores a 10%.

CHRISTOFORO et al (2013), investigaram o desempenho mecânico do emprego de materiais compósitos laminados com fibras de sisal como reforço em painéis de partículas de madeira *Pinus sp* com resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona. Os resultados do módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) dos materiais desenvolvidos sem a inclusão dos reforços superaram os limites contidos nos documentos normativos ABNT NBR14810-2:2002 e ANSI A208.1:199, comprovando a viabilidade dos materiais elaborados. A inclusão dos compósitos laminados conduziu a valores superiores tanto para o MOE quanto para o MOR quando comparados ao MOE e MOR dos materiais fabricados sem reforço.

SILVA e LAHR (2008f) avaliaram chapas aglomeradas homogêneas com partículas de madeiras da Amazônia de baixa e média densidade (*Erismia uncinatum*, *Nectranda*

*lanceolata*, *Erisma* sp). As chapas foram confeccionadas com espessura nominal de 10 mm, densidade nominal de 0,75g/cm<sup>3</sup> empregando-se 10% de resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona e partículas com comprimentos entre 0,02mm a 6mm, sob condições de prensagem com temperatura de 90°C, 4MPa e tempo de 10min. Nas avaliações realizadas de acordo com a ABNT NBR 14810:2002, as chapas de partículas *Nectranda lanceolata* apresentaram os maiores valores de resistência, sendo estes superiores ao limite estabelecido pelo documento normativo.

IWAKIRI et al (2000b), avaliaram a utilização de resíduo serraria de *Eucalyptus maculata*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus tereticornis*, para produção de painéis de madeira aglomerada. Foram analisadas as propriedades de absorção de água, inchamento em espessura, ligação interna, MOE e MOR. Os resultados obtidos foram satisfatórios em comparação com algumas espécies referenciais como *Pinus elliotti*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus dunni*, mencionadas na literatura. Os painéis produzidos com *Eucalyptus maculata* e o *Eucalyptus grandis* com 12% de resina apresentam melhores resultados de propriedades mecânicas, sendo mais indicados para produção de painéis de madeira aglomerada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os resíduos foram coletados aleatoriamente em indústrias da região de São José do Rio Preto-SP. Os fatores e níveis estipulados na elaboração das chapas foram: espécies de madeira (Tauari, Cupiúba, Garapa e Cambará), tipo de resina (poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona), densidade nominal (0,80g/cm<sup>3</sup>), espessura nominal (10mm), porcentagem de resina (10% base peso seco), tempo utilizado no ciclo de prensagem (10min), temperatura de prensagem (110°C), pressão de prensagem (5MPa), dimensão das partículas (resultante do processamento em moinho de facas).

Depois de processadas em moinho de facas as partículas foram submetidas à análise granulométrica por meio do ensaio da ABNT NBR NM 248:2003 e realizou-se classificação das partículas empregando-se o equipamento SOLOTEST em uma massa de partículas de 500g.

Produziu-se 3 painéis aglomerados com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona nas dimensões de 400mmx400mmx10mm. A Tab. 1 apresenta as propriedades avaliadas de acordo com a NBR 14810-3:2006 dos painéis com o respectiva quantidade de corpos-de-prova.

**Tabela 1. Propriedades avaliadas**

Propriedades	Dimensões (mm)	Qtde de CP
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	50x50x10	12
Teor de umidade (%)	50x50x10	12
Inchamento e absorção (%)	25x25x10	12
Módulo de resistência à flexão (MPa)	250x250x10	12
Módulo de elasticidade na flexão (MPa)	250x250x10	12
Resistência à tração perpendicular (MPa)	50x50x10	12
Arrancamento de parafuso - superfície (N)	150x75x10	12
Arrancamento de parafuso - topo (N)	115x65x10	12

### 3.1. Procedimentos para produção dos painéis.

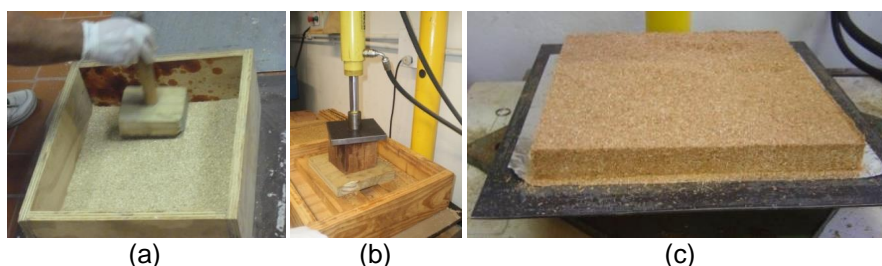
Inicialmente os resíduos foram processados em moinho de facas, e depois da verificação da umidade, adicionou-se 10% (base peso seco) de resina bicomponente PU-Mamona às partículas, misturando-se primeiramente o conteúdo correspondente a parte do poliál e em

seguida, o conteúdo correspondente a parte do pré-polímero. De acordo com SILVA (2008g), esse procedimento objetivou propiciar boa homogeneização da resina às partículas e minimizar os efeitos da reação de expansão. A Fig. 1 ilustra a sequência no processo de preparação e homogeneização das partículas à resina.



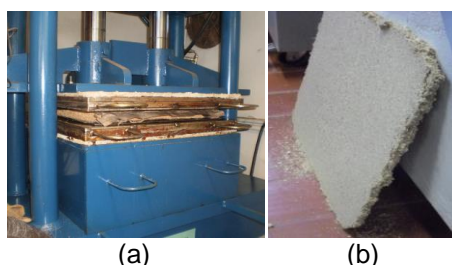
**Figura 1. (a) Moinho de facas, (b) adição de resina, (c) homogeneização manual, (d) homogeneização mecânica por 5 minutos em misturador de tambor.**

De posse das partículas com adesivo, iniciou-se a sequência para preparação do colchão de partículas. Para preparação do colchão de partículas foi utilizada uma formadora de colchão nas dimensões de 400x400x10mm e empregou-se uma prensagem de 1MPa, objetivando-se propiciar a aproximação entre as partículas e conseqüentemente formação do colchão. A Fig. 2 ilustra a sequência para preparação do colchão de partículas.



**Figura 2. (a) Acomodação das partículas no interior da formadora de colchão, (b) prensagem com pressão de 1MPa, (c) colchão de partículas pronto para ser prensado.**

Em seguida foi realizado o procedimento para prensagem do colchão de partículas objetivando-se a obtenção dos painéis aglomerados. A prensagem foi realizada considerando-se um ciclo com tempo inicial de 3 minutos, alívio de pressão por 30 segundos, para eliminação de gases e evitar a formação de bolhas nos painéis e 7 minutos finais de pressão com temperatura de 110°C e pressão 5MPa. A Fig. 3 ilustra o processo de prensagem e conseqüente produção dos painéis de partículas.



**Figura 3. (a) Colchão de partículas entre os pratos da prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão, (b) painel aglomerado logo após a prensagem.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente avaliou-se a granulometria de uma massa de partículas de 500g, objetivando-se verificar se as partículas se encontravam dentro da faixa de dimensão

adequada para confecção dos painéis, ou seja, entre 2mm a 6mm. A Tab. 2 apresenta os resultados do ensaio realizado.

**Tabela 2. Análise granulométrica das partículas**

	% Retida Acumulada								
Peneiras (mm)	0,75	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,50
Serragem (%)	99,19	97,62	93,51	78,38	48,00	12,35	0,42	0,00	0,00
Serragem (g)	7,90	20,69	76,13	152,85	179,39	60,01	2,12	0,00	0,00

Conforme evidencia-se na Tab. 2 a faixa granulométrica de partículas de 2mm a 6mm se apresentam retidas acumuladas nas peneiras com malhas de 1,19mm; 2,38mm e 4,76mm em percentuais de massa de 48,00%; 12,35% e 0,42%, respectivamente. Os valores obtidos possibilitam inferir que há necessidade de melhorar a distribuição granulométrica na faixa de 4mm e 6mm.

Considerando-se a distribuição granulométrica foram confeccionados os painéis conforme descrito na metodologia e realizados ensaios para avaliação da densidade, teor de umidade, inchamento e absorção após 2 horas de imersão, resistência à flexão e módulo de elasticidade, resistência à tração perpendicular e arrancamento de parafuso de superfície e de topo. A Tab.3 apresenta os valores médios obtidos.

**Tabela 3. Valores médios de propriedades físicas e mecânicas dos painéis e os valores mínimos exigidos pelos documentos normativos.**

Propriedades	PU-Mamona	NBR	EN	CS
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,84	0,551 a 0,750	0,690	0,60 a 0,80
Teor de umidade (%)	6,75	5 a 11	5 a 13	-
Inchamento após 2 horas (%)	13,37	8	15 <sup>(3)</sup>	35
Absorção após 2 horas (%)	36,50	SR <sup>(1)</sup>	SR <sup>(1)</sup>	SR <sup>(1)</sup>
Módulo de resistência na flexão (MPa)	13,08	18	15	11,2
Módulo de elasticidade na flexão (MPa)	1841,77	SR <sup>(2)</sup>	2400 <sup>(4)</sup>	2450
Resistência à tração perpendicular (MPa)	1,32	0,40	0,35	0,49
Arrancamento de parafuso na superfície do cp (N)	1033,33	NA <sup>(2)</sup>	1200	2041
Arrancamento de parafuso no topo do cp (N)	895,33	NA <sup>(2)</sup>	SR <sup>(1)</sup>	-

<sup>(1)</sup> Sem referência, <sup>(2)</sup> Não aplicável para painéis aglomerados com espessura na faixa de 10mm, <sup>(3)</sup> Valor de Inchamento após 24 horas de imersão para painéis com espessura entre 25mm a 32mm, <sup>(4)</sup> Valor de MOE para painéis aglomerados com espessura entre 25mm a 32mm.

Conforme se observa na Tab. 3 foram determinadas médias de densidades de 0,84g/cm<sup>3</sup>, esse valor é superior a densidade nominal estimada para confecção dos painéis e superior aos valores que definem as chapas aglomeradas de média densidade de acordo com a NBR14810:3/2006 e a EN323, conseqüentemente, em função dos valores de densidades obtidas os painéis confeccionados com PU-Mamona podem ser considerados como painéis de alta densidade.

A média dos teores de umidade dos painéis foi 6,75%. De acordo com a NBR 14810:3/2006 e a EN322 este valor está em conformidade com o recomendado pelos referidos documentos normativos, entretanto, vale ressaltar que, em função do controle de umidade das madeiras pelas indústrias moveleiras, foi determinado teor de umidade médio para as partículas do resíduo coletado de 8,63%, considerando-se as características da resina PU-Mamona este teor de umidade é baixo e pode ter prejudicado às propriedades físicas e mecânicas dos painéis, pois, segundo SILVA (2008g), para este tipo de adesivo,

teores de umidade em torno de 10% facilitam a homogeneização entre as partículas, melhora o fluxo do adesivo no interior do painel e propicia maior adesão entre as partículas.

Segundo MATOS (1988), citado por WEBER (2011), para o processo de fabricação das chapas, o teor de umidade das partículas associada à temperatura, proporcionam maior “plasticização” das partículas de madeira e menor resistência à compactação, além de favorecer a transferência de calor desde a superfície até o miolo da chapa. Neste contexto, vale ressaltar que o teor de umidade das partículas poderá exercer influência direta na umidade das chapas após confecção.

O valor médio de inchamento em espessura para 2 horas de imersão em água foi de 13,37%, este valor não está de acordo com a exigência máxima de 8% da NBR14820:3/2006, entretanto, está de acordo com os requisitos normativos da CS 236-66/1968, que preconiza 55% para inchamento em espessura de chapas de partículas de madeira de alta densidade. E em conformidade com valores encontrados por DIAS et al (2008) para chapas produzidas com resíduos de pinus, aderidos com 10% de resina PU-Mamona, que variavam na faixa de 9 a 14% para 2 horas de imersão e de acordo com IWAKIRI et al (2000b), que determinaram valores médios de inchamento após 2 horas de imersão de 12,38% e 23,51%, para painéis confeccionados com 12% e 8% de resina ureia formaldeído (UF) com resíduos de eucalipto oriundos de serrarias, respectivamente.

O valor médio de absorção de água para 2 horas de imersão foi de 36,5%; a NBR, EN e CS não fazem referência para esta propriedade, porém, nos estudos de IWAKIRI et al (2000b) com resíduos de eucalipto oriundos de serraria, o valor médio de absorção para 2 horas de imersão em água foi de 13,94% para painéis com confeccionados com 12% UF e de 41,74% para painéis confeccionados com 8% de UF; ou seja, o valor determinado de absorção após 2 horas de imersão em água para painéis confeccionadas com 10% de PU-Mamona encontra-se entre os valores médios obtidos nos estudos desenvolvidos por IWAKIRI et al (2000b).

Considerando-se os valores obtidos para as propriedades de inchamento e absorção, vale ressaltar a influência do teor de umidade das partículas, pois, conforme descrito anteriormente, o baixo teor de umidade pode ter provocado adesão entre as partículas com pequenos espaços vazios e conseqüentemente, facilitado maior fluxo de água no interior do painel.

Com relação ao módulo de resistência na flexão (MOR) o valor médio obtido foi de 13,08MPa, esse valor não atende as exigências da NBR14810:3/2006 e da EN310, entretanto, está de acordo com a norma americana CS 236-66, que estabelece valor de 11,2MPa. Ressalta-se que, em estudos desenvolvidos por IWAKIRI et al (2004c), para painéis confeccionados com partículas de *Grevillea robusta*, com emprego de resina ureia formaldeído nas proporções 6% e 8%; foram determinados valores de MOR de 10,3MPa e 17,7MPa, respectivamente, estes valores se aproximam dos valores encontrados neste estudo.

Para o módulo de elasticidade na flexão, foi determinado valor médio de 1841,77MPa; a NBR14810:3/2006 não faz referência para valores de MOE, entretanto, a norma européia EN310, para painéis com espessura entre 25mm a 32mm preconiza valor de 2400MPa para o MOE e a norma americana CS236-66, para painéis de partículas com densidade entre 0,60g/cm<sup>3</sup> a 0,80g/cm<sup>3</sup>, estabelece valor mínimo de 2450MPa, ou seja, o valor médio determinado para os painéis confeccionados com PU-Mamona e resíduos de indústrias moveleiras está abaixo dos valores preconizados pelas referidas normas. Entretanto, IWAKIRI et al (2000b), determinaram valores de MOE, para painéis confeccionados com 8% e 12% de resina UF empregando-se resíduos de serraria de madeira de eucalipto, de 1217,89 a 2305,56 MPa, respectivamente, estes valores se aproximam aos valores determinados neste estudo.

O valor médio da resistência à tração perpendicular determinado para os painéis confeccionados com resíduo de indústrias moveleiras e emprego de 10% de resina PU-Mamona foi de 1,32MPa, este valor é superior aos valores preconizados de acordo com a NBR14810:3/2006, EN319 e a CS 236-66. A resistência à tração perpendicular obtida provavelmente está relacionada ao percentual (em torno de 50%) de massa de partículas

com comprimento entre 0,75mm a 1,0mm; que provavelmente propiciaram maior ligação entre as partículas. Em estudo para confecção de painéis de partículas com partículas de madeira de leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona, SILVA et al (2013a), encontraram valor médio de 1,26MPa; considerando-se o emprego de resina PU-Mamona, os valores determinados são coerentes com os estudos desenvolvidos para confecção de painéis aglomerados.

Nos ensaios de arranque de parafuso no topo e na superfície do corpo-de-prova, para painéis confeccionados com 10% de resina PU Mamona, emprego de resíduo de indústrias moveleiras e espessura em torno de 10mm, foram determinados valores de 896N e 1033N, respectivamente. A NBR14810:3/2006, não faz referência ao arranque de parafuso para as faixas de espessura dos painéis deste trabalho, entretanto, para painéis aglomerados com espessuras entre 14mm a 50mm é preconizado valor mínimo de arranque de parafuso na superfície de 1020N e 1200N de arranque de parafuso de superfície, de acordo com a EN311 para painéis aglomerados com espessuras entre 25mm a 32mm.

VARANDA (2012) em seu estudo sobre painéis confeccionados com *Eucalyptus grandis* e adição de casca de aveia, empregando resina PU-Mamona, determinou valores de arranque de parafuso que variaram de 450N a 1200N para superfície e de 950N a 2350N para arranque de parafuso de topo, valores semelhantes aos encontrados neste estudo.

## CONCLUSÃO

Diante das avaliações realizadas e dos argumentos sobre os resultados obtidos, conclui-se que os painéis de partículas confeccionados com resíduos de indústrias de móveis, contendo 4 espécies de madeira e 10 % de resina poliuretana bicomponente de mamona é uma alternativa viável para produção de painéis aglomerados. Além da contribuição ambiental o aproveitamento de resíduos possibilita agregar valor aos painéis que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil.

## AGRADECIMENTOS

Às indústrias moveleiras de São José do Rio Preto, à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, à Faculdade de Engenharia de Bauru e ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras da EESC-USP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT. NBR 14.810-1.** (2006). Painéis de Madeira Aglomerada - parte 1: Definições. Rio de Janeiro, 39p.
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14.810-2.** Painéis de Madeira Aglomerada - parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 39p.(2006).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR 14.810-3.** Painéis de Madeira Aglomerada - parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 39p. (2006).
- \_\_\_\_\_. **ABNT NBR NM 248:2003** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 6p. (2003).
- BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservantes CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011..
- BLECHA et al., **Painéis de partículas fabricados com resíduos de podas de árvores urbanas.**p111-121. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013.
- CARLO, Eduardo de; POLITO, Wagner L. **Desenvolvimento e caracterização de um poliuretano monocomponente baseado em óleo vegetal curado ao ar.** Dissertação

- de Mestrado. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo; p.282. São Carlos; São Paulo; 2002.
- CAMPOS C I. **Produção e caracterização físico-mecânica de MDF a partir de fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores.** Tese de mestrado. São Carlos: Universidade de São Paulo; 2005.
- CHRISTOFORO et al., **Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena.**p111-121. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013.
- DIAS F M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada.** Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo; , p. 73-92, 2008.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1993). **EN 310:** Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelas.
- \_\_\_\_\_. (1993). **EN 319:** Particleboards and fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas.
- \_\_\_\_\_. (1993). **EN 323:** Wood-based - Determination of density. Bruxelas.
- FEITOSA, B. C. **Aproveitamento dos resíduos de madeira no Pará 2008.** Disponível em: <[http://www.remade.com.br/pt/revista\\_materia.php?edicao=114&id=1274l](http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=114&id=1274l)>. Acesso em: 10/11/2013.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005a.
- \_\_\_\_\_, Cunha, A., B.; Albuquerque, C., E., C.; Gorniak, E.; Mendes, L. M. **Resíduos de serrarias na produção de painéis da madeira aglomerada de eucalipto.** Scientia Agrária, v.1, n.1-2, p. 23-28, 2000b. Editora UFPR.
- \_\_\_\_\_. et. al. **Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB.** Cerne, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2004c.
- JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 106p. São Carlos, São Paulo, 2000.
- MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing.** 2.ed. San Francisco:Miller Freeman, 684p.,1993
- MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards.** 164 f. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- MOSLEMI, A.A. **Particleboard: materials.** London: Southem University Press, 1974. v.1, 244p.
- NASCIMENTO et al., **Viabilidade do emprego de *Eucalyptus* tratado com CCA e CCB na produção de painéis particulados de alta densidade.**p57-89. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013.
- POLETO et al, **Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécies de reflorestamento.**p1-22. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013.
- ROCCO, F. A. L. (Org.) **Produtos derivados da madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeiras,** São Carlos, 2008.
- SILVA, S.A.M. et al, **Painéis de partículas de madeira leucena e resina poliuretana derivada de óleo de mamona.** Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.43,n.8,p.1399-1404, ago, 2013a.
- \_\_\_\_\_. e Lahr, F.A.R. **“Painéis de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade”.** Livro: Reciclagem de resíduos para a



- construção civil. Editora da Universidade FUMEC - FEA. P. Capítulo 14, p. 343 - 365. Belo Horizonte - MG, 2007b.
- \_\_\_\_\_ et al, **Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada confeccionadas com partículas de madeira tropical e poliuretano derivado de óleo de mamona.**p91-110. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013c.
- \_\_\_\_\_ et al., **Caracterização de painéis de partículas de madeira leucena.**p111-121. In: Rocco & Christoforo (Org.) Painéis de partículas de madeira lignocelulósicos. São Carlos. EESC/USP.339p.2013d.
- \_\_\_\_\_. **Aproveitamento de resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para a produção de chapas de partículas homogêneas, empregando-se resina poliuretano derivada de óleo de mamona.** Pós-doutorado. Departamento de Engenharia de Estruturas. LaMEM/EESC/USP, SC -SP. 2007e.
- \_\_\_\_\_ e LAHR, F. A. R., **Chapas de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade.** Capítulo 14 do livro: Reciclagem de resíduos para a construção civil. Editora da Universidade FUMEC - FEA. P.343-365. Belo Horizonte, MG, 2008f.
- \_\_\_\_\_, Rocco Lahr, F.A. **Chapas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade.** Pós-Doutorado. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras. USP - São Carlos. 2008g.
- VARANDA, L. D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia.** 155f. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- Weber, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados.** 87f. Dissertação de Mestrado - Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR. 2011.

Os autores são os únicos responsáveis pelo que está contido neste trabalho.