



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**“Júlio de Mesquita Filho”**

**Campus de Ilha Solteira**

# **Tese de Livre Docente**

**Sérgio Augusto Mello da Silva**

Ilha Solteira/SP

Janeiro de 2016

**Confecção e avaliação de painéis de partículas  
de madeira de média densidade com  
aproveitamento de resíduos industriais**

**Sérgio Augusto Mello da Silva**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Ilha Solteira, para o Concurso Público de Títulos e Provas do Departamento de Engenharia Civil, referente à disciplina “Tópicos Engenharia de Estruturas: Produtos Derivados de Madeira”, do curso de pós-graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de Livre-Docente em Produtos Engenheirados da Madeira.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
LISTA DE SIMBOLOS.....	ix
RESUMO.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	3
2.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE OS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA.....	3
2.1.1. PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA.....	7
2.2 TIPOS DE PAINÉIS PRODUZIDOS INDUSTRIALMENTE.....	13
2.2.1. MADEIRA TRANSFORMADA.....	13
2.2.2 LAMINADOS DE MADEIRA.....	14
2.2.3 MADEIRA COMPENSADA.....	14
2.2.4 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA.....	17
2.2.4.1 CHAPAS DE FIBRAS DE MADEIRA.....	17
2.2.5 MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (MDF).....	18
2.2.6 ORIENTED STRAND BOARD (OSB).....	21
2.2.7. MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD (MDP).....	22
2.2.8 MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC).....	24
2.3. RESÍDUOS.....	25
2.3.1 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA.....	27
2.3.2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	30
2.4 ADESIVO.....	33
2.4.1 UTILIZAÇÃO DA RESINA POLIURETANA À BASE DE MAMONA.....	34
3. OBJETIVO.....	34
4. MATERIAIS E METODOS.....	35
4.1. PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	35
4.2 PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE MERCENARIA.....	36
4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	37
4.4. PARÂMETROS NORMATIVOS ADOTADOS PARA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS.....	38
4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	39
4.5.1. DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS.....	39
4.5.2. TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS.....	39

4.5.3 INCHAMENTO DOS PAINÉIS .....	40
4.5.4. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA .....	40
4.5.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE .....	41
4.5.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR.....	41
4.5.7 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA .....	42
5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA .....	42
5.1 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DAS FÁBRICAS DE MÓVEIS .....	42
5.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DE MARCENARIAS.....	45
5.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS .....	48
5.3.1 DENSIDADE APARENTE.....	48
5.3.2 TEOR DE UMIDADE .....	49
5.3.3 INCHAMENTO .....	50
5.4 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	50
5.4.1 MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (MOR) .....	51
5.4.2 MODULO DE ELASTICIDADE (MOE).....	52
5.4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP).....	53
5.4.4 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE DO CORPO-DE-PROVA (APS) E ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO CORPO-DE-PROVA (APT).....	53
5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS NA PRIMEIRA ETAPA.....	54
6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA .....	55
6.1. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T1 .....	55
6.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T2.....	57
6.3 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T3.....	58
6.4. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T4.....	60
6.5 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T5.....	61
6.6. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS .....	64
6.6.1 DENSIDADE APARENTE.....	65
6.6.2 TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS.....	66
6.6.3 INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS .....	67
6.7. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	68
6.7.1 MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE).....	69
6.7.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP).....	69
7. CONCLUSÃO .....	71

8. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS .....	71
9. REFERÊNCIAS .....	73

## AGRADECIMENTOS

Em especial ao meu saudoso pai **Manoel Augusto da Silva**, que plantou em minha formação a força para lutar sempre e nunca desistir. Ver seus filhos formados foi sua meta e por isso, por intermédio do exemplo de seu bom caráter, ofereço-lhe com todo meu amor o fruto colhido de seus ensinamentos.

A minha mãe **Therezinha Mello da Silva**, que com todo seu amor e experiência, sempre esteve presente para aconselhar em todos os momentos de minha vida. Meu amor e carinho eterno.

A minha esposa **Rosângela Costa da Silva** pelo incentivo, companheirismo e compreensão nos momentos difíceis, mas, que sempre me incentivou e nunca me deixou desanimar.

A minha querida **Tereza Carolina Costa da Silva** que sempre será a primeira de minhas flores embelezando e motivando minha vida.

A minha meiga **Ana Paula Costa da Silva** que evolui progressivamente em todas as estações do ano, para você desejo todo o sucesso que merece.

A pequena florzinha **Helena Costa da Silva** que desabrochou em nossas vidas; um presente de Deus que nos tomou da mais intensa e pura felicidade.

Ao meu companheiro carinhoso e fiel **Sérgio Augusto Mello da Silva Junior**, você estará sempre no melhor lugar de meu coração. Sempre serei por ti e lhe dedico com toda alegria, amor e carinho o resultado do desempenho de todos estes anos de luta.

Aos meus orientados e amigos **Luciana Simal Alves, Ademir Marton e Bruna Bessa Rocha**, pelos estudos desenvolvidos que possibilitaram a realização deste trabalho.

Ao meu maravilho **Deus**, por possibilitar os melhores momentos de minha vida e permitir seguir sempre em frente com muita fé.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cadeia produtiva do Setor de Madeira Processada Mecanicamente. ....	5
Figura 2 - Evolução do consumo nacional dos produtos florestais oriundos de florestas plantadas (2000 - 2001) .....	6
Figura 3 - Painel de madeira aglomerada. ....	8
Figura 4 - Composição estrutural dos aglomerados .....	11
Figura 5- Processo de fabricação das chapas .....	12
Figura 6 - Evolução do consumo nacional. ....	15
Figura 7 - Painéis de madeira compensada .....	16
Figura 8 – Chapa de fibra de madeira. ....	18
Figura 9 - Painéis de MDF - Medium Density Fiberboard. ....	19
Figura 10 – Painéis Oriented Strand Board (OSB). ....	21
Figura 11 - Painéis MDP. ....	23
Figura 12 - Aplicações de MLC em sistemas estruturais de cobertura. ....	25
Figura 13 - Resíduo de madeira de serraria. ....	29
Figura 14 - Bagaço de cana-de-açúcar .....	31
Figura 15 - Ilustração do processamento do bagaço de cana em moinho de facas, para produção de partículas. ....	36
Figura 16 - Conjunto de peneiras com dispositivo vibratório. ....	37
Figura 17 - Curva granulométrica dos resíduos das indústrias moveleiras .....	44
Figura 18 - Curva granulométrica dos resíduos das marcenarias. ....	47
Figura 19. Curva granulométrica do T1. ....	56
Figura 20. Curva granulométrica do T2. ....	58
Figura 21. Curva granulométrica do T3. ....	59
Figura 22. Curva granulométrica do T4. ....	61
Figura 23. Curva granulométrica do T5. ....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Evolução histórica da produção, consumo, exportação, e importação de chapas de madeira aglomerada no Brasil em m <sup>3</sup> .....	5
Tabela 2 – Produção de compensados, consumo e exportação em 1.000m <sup>3</sup> .....	15
Tabela 3 – Produção, Consumo, Exportação, Importação de painéis de fibra (m <sup>3</sup> ). .....	18
Tabela 4 - Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil (m <sup>3</sup> ).....	20
Tabela 5 - Produção, importação, exportação e consumo interno em 1.000 (m <sup>3</sup> ) de MDP no Brasil. ....	24
Tabela 6 - Resumo do ensaio de granulometria das partículas de madeira das fábricas de móveis.....	43
Tabela 7 - Resumo do ensaio de granulometria das partículas de madeira de marcenarias. ....	46
Tabela 8. Propriedades físicas dos PAINÉIS A e dos PAINÉIS B.....	48
Tabela 9 - Propriedades mecânicas dos PAINÉIS A e dos PAINÉIS B.....	51
Tabela 10- Tratamentos empregados para propostas de confecção de novos painéis .....	55
Tabela 11 - Resumo do ensaio de granulometria para o T1.....	56
Tabela 12- Resumo do ensaio de granulometria para o T2.....	57
Tabela 13- Resumo do ensaio de granulometria para o T3.....	59
Tabela 14- Resumo do ensaio de granulometria para o T4.....	60
Tabela 15- Resumo do ensaio de granulometria para o T5.....	62
Tabela 16. Teor de umidade das misturas de partículas para cada tratamento. ....	64
Tabela 17. Resultados das propriedades físicas dos painéis e os valores propostos pela ABNT NBR1814-2/2013. ....	65
Tabela 18. Avaliação das perdas de umidade dos painéis.....	67
Tabela 19. Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis e os valores propostos pela ABNT NBR1814-2/2013.....	68



**LISTA DE ABREVIATURAS**

ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira.
ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria da Madeira Processada Mecanicamente.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPM	Associação Brasileira de Preservadores de Madeira
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
APS	Arrancamento de Parafuso na Superfície do corpo-de-prova
APT	Arrancamento de Parafuso no Topo do corpo-de-prova
ATT	Áreas de Transbordo e Triagem
BRACELPA	Associação Brasileira de Celulose e Papel
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
IPT	Instituto Brasileiro de Pesquisa Tecnológicas
FSC	Forest Stewardship Council
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MLC	Madeira Laminada Colada
MOE	Módulo de Elasticidade na Flexão
MOR	Módulo de Resistência na Flexão
PU-Mamona	Adesivo Poliuretano à Base de Óleo de Mamona
P2	Painéis de Partículas de Média Densidade não Estruturais para Uso em Ambientes Secos.

OSB	Oriented Strand Board
TP	Resistência à Tração Perpendicular
SBS	Sociedade Brasileira de Silvicultura
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior

**LISTA DE SIMBOLOS**

$\delta$	DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS
$e_0$	ESPESSURA DO CORPO-DE-PROVA ANTES DA IMERSÃO
$e_1$	ESPESSURA DO CORPO APÓS IMERSÃO
$m_{cp}$	MASSA DO CORPO-DE-PROVA
$v_{cp}$	VOLUME DO CORPO-DE-PROVA
$U$	TEOR DE UMIDADE RESIDUAL DO PAINEL
$m_u$	MASSA ÚMIDA DO COPRO-DE-PROVA
$m_s$	MASSA SECA DO CORPO-DE-PROVA
$P$	CARGA DE RUPTURA
$P_1$	CARGA NO LIMITE PROPORCIONAL
$MOR$	MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA
$MOE$	MÓDULO DE ELASTICIDADE
$S$	ÁREA DA SUPERFÍCIE DO CORPO-DE-PROVA
$TP$	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR

## RESUMO

No Brasil intensificam-se os estudos visando o aproveitamento dos subprodutos industriais com a justificativa de que propiciarão proteção ao meio ambiente, pois, seu aproveitamento poderá agregar valor a novos produtos com interesse comercial e poderão minimizar a exploração e o uso de recursos naturais. Este trabalho se propõe avaliar a influência da composição granulométrica no desempenho de painéis de partículas de madeira de média densidade de acordo com a ABNT NBR14810 - 1 e 2:2013, pois, em estudos orientados pelo autor, nas avaliações realizadas em painéis de partículas de madeira de marcenarias e de fábricas de moveis com emprego de adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona (PU-Mamona) foi identificado que, para melhorar as propriedades dos painéis, seria necessário melhorar a composição granulométrica do resíduo utilizado, neste sentido, este trabalho, propôs cinco tratamentos com misturas diferentes de partículas de madeira e adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar. Em seguida foram confeccionados painéis de partículas com as misturas propostas nos tratamentos e realizadas avaliações para a verificação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Os resultados obtidos evidenciaram significativa melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, sendo possível indicar o aproveitamento dos resíduos estudados para a produção de painéis de madeira de média densidade do tipo P2 segundo a ABNT NBR 14810 - 1 e 2:2013.

**Palavras-chave** - Painéis de partículas de madeira de média densidade, partículas de resíduos de marcenaria industrial, partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

## 1. INTRODUÇÃO

O desmatamento no mundo continua sendo uma das principais preocupações de nossa época, SBS (2014). Por outro lado, o aumento constatado das áreas de florestas plantadas sinaliza para o reconhecimento de sua capacidade de proporcionar benefícios sociais e ambientais; no Brasil verifica-se que esta é uma tendência para aumentar a demanda que propicia a oportunidade de ampliar o manejo florestal e a quantidade de florestas plantadas no país para produção de bens e serviços.

De acordo com Visnardi (2010) os problemas com a escassez de madeira no Brasil, devido ao desmatamento das florestas, fazem com que haja uma busca por soluções e propostas, que a nível ambiental e sustentável, promovam programas e metas para a devida utilização dos resíduos industriais e agrários.

A utilização de resíduos objetivando agregar valor ao produto é uma solução viável para a fabricação de derivados de madeira, que gradativamente vem substituindo a madeira maciça, pois, dentre suas qualidades, possui maior estabilidade dimensional, menor peso e menor custo. No processo de fabricação observa-se menor gasto de energia com menor tempo de produção e menos esforços, sendo possível incrementar propriedades especiais como térmicas e acústicas.

Os resíduos de madeira, em todas as fases do processo produtivo, são considerados subprodutos sendo descartados e depositados a céu aberto, entretanto, quando possível, são reintegrados ao processo produtivo. Por outro lado, várias pesquisas são desenvolvidas para o aproveitamento desses subprodutos objetivando reduzir os impactos ambientais.

Neste trabalho serão confeccionados e avaliados painéis de madeira aglomerada composto por dois subprodutos industriais, um derivado de marcenarias e o outro, proveniente de usinas de cana de açúcar e adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona. De acordo com Silva e Marton (2014) verificou-se que os resíduos de marcenarias apresentam potencialidades para a produção de painéis de madeira aglomerada, entretanto, é necessário melhorar a sua composição granulométrica. Conseqüentemente, este trabalho propõe verificar a melhor composição granulométrica para confecção e avaliação de painéis de partículas de madeira aglomerada.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

Neste capítulo serão apresentados os principais estudos desenvolvidos e relacionados ao aproveitamento de resíduos lignocelulósicos para a produção de painéis de madeira aglomerada.

### **2.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE OS PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA**

De acordo com Iwakiri (2005) os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40 como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, sendo que após 1946, o desenvolvimento dos painéis continuou nos Estados Unidos, com o aperfeiçoamento dos processos produtivos.

A madeira oriunda de florestas nativas vem sendo substituída por madeira de florestas plantadas, pois as florestas plantadas são fonte renovável de fornecimento de produtos e serviços demandados em escala crescente pela sociedade em nível global, buscando hoje estudos e desenvolvimento de novos materiais que possam suprir com eficiência os materiais já existentes.

Embora o emprego da madeira em sua estrutura natural pareça estar diminuindo, há um aumento de utilização desse material em produtos nos quais a madeira está química e mecanicamente modificada, como nas placas de fibras e partículas prensadas (PATTON, 1978, p.185).

Um país como o Brasil, com um grau elevado de disponibilidade de materiais com ótimas condições para a industrialização, encontra dificuldades para a organização, investimentos e utilização de seus recursos, ficando a desejar em investimentos para a tecnologia nos processos de produção.

Segundo a ABIPA (2013), a área total de florestas plantadas do segmento de painéis é de 500 mil hectares de recursos renováveis, resultando toda a produção de madeira para a indústria de painéis, representando apenas 0,5% da área total do país, sendo que 240 mil hectares são de reservas naturais e de representação permanente.

O Brasil possui condições favoráveis para se tornar um produtor mundial de painéis de madeira, pois, além das tecnologias implantadas de última geração, vem desenvolvendo tecnologias que possibilitam o uso de resíduos do processamento da madeira, LAHR (2004).

As empresas fabricantes de painéis aglomerados têm capacidade nominal instalada de 3 milhões de m<sup>3</sup> por ano, sendo as madeiras de reflorestamento, pinus e eucalipto, mais utilizadas para a produção de aglomerados, SBS (2014).

De acordo com a ABIPA (2013), o Brasil está entre os mais avançados do mundo na fabricação de painéis de madeira reconstituída, contando com o maior número de fábricas de última geração e com investimentos em novas tecnologias, automação e implantando novos processos de impregnação, impressão, revestimento e pintura. Como resultado, verifica-se na Tabela 1 um aumento do consumo e importação de painéis.



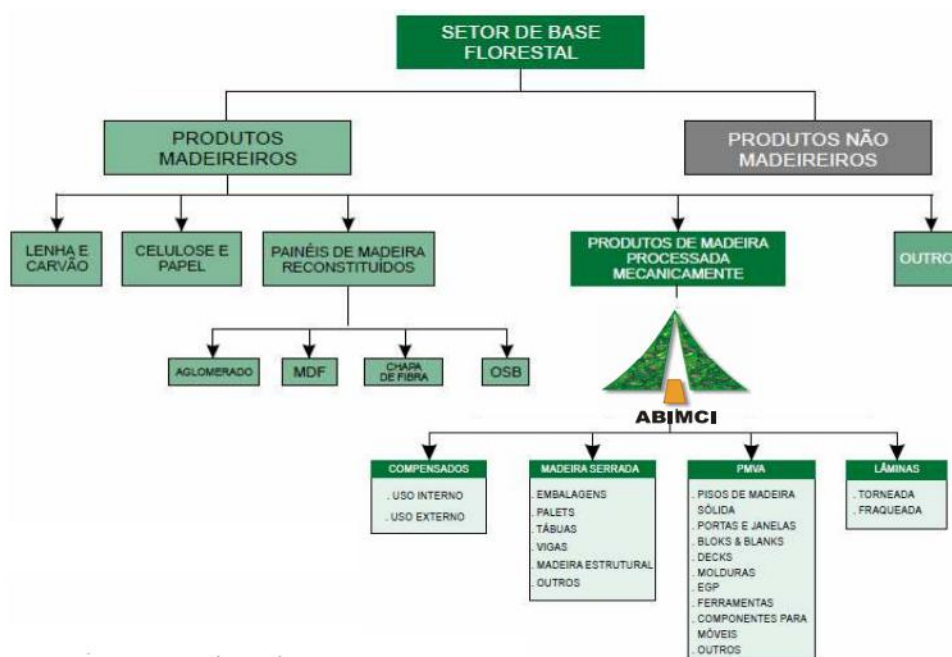
Tabela 1 Evolução histórica da produção, consumo, exportação, e importação de chapas de madeira aglomerada no Brasil em m<sup>3</sup>.

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO	IMPORTAÇÃO
2000	1.762.220	1.761.947	15.712	15.439
2001	1.832.996	1.871.469	7.808	46.281
2002	1.779.445	1.804.749	17.536	42.840
2003	1.859.144	1.908.403	12.879	62.138
2004	2.083.533	2.157.857	19.831	94.155
2005	2.048.957	2.097.921	25.748	74.712
2006	2.198.216	2.179.730	76.666	58.180
2007	2.557.141	2.545.126	37.387	25.372

Fonte: Adaptado de ABIPA (2013)

Dentre as indústrias no Brasil, a Masisa é a principal produtora de painéis da América Latina, com produção equivalente a 19% da capacidade instalada, suas unidades estão em funcionamento no Chile, Argentina, Brasil, Venezuela e México e seus principais produtos são os painéis MDF e MDP. A Figura 1 ilustra a cadeia produtiva do setor de madeira processada mecanicamente.

Figura 1 – Cadeia produtiva do Setor de Madeira Processada Mecanicamente.



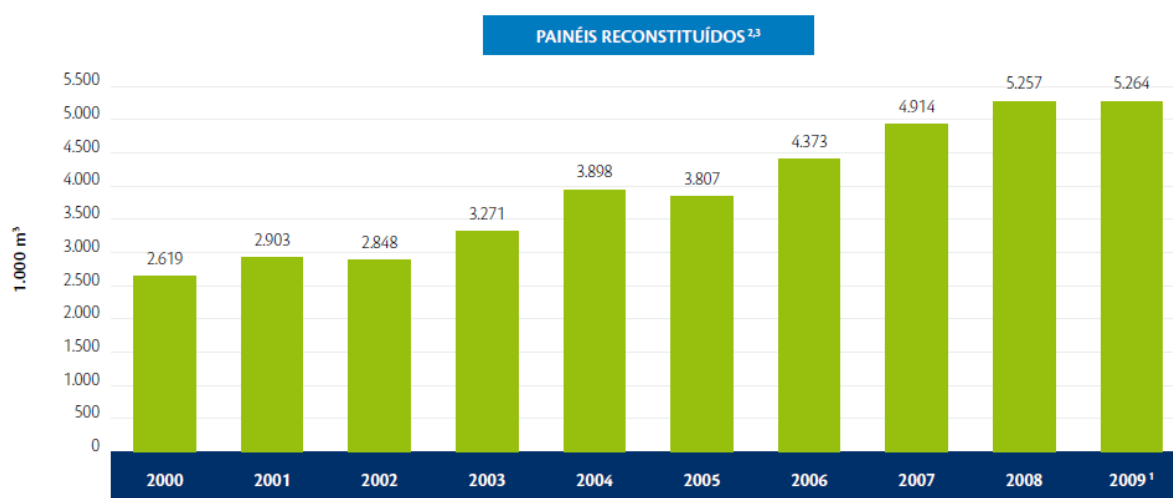
Fonte: ABRAF (2006), adaptado por ABIMCI (2009)

Outra empresa do segmento de madeira reconstituída é a Duratex que utiliza madeira de florestas certificadas, provenientes de fontes controladas, seguindo procedimentos do FSC. Essas florestas são utilizadas para a produção de painéis de madeira reconstituída.

A Eucatex produz e exporta painéis MDP, MDF e painéis de fibras de madeira para 37 países, no Brasil estão instalados no Estado de São Paulo em Botucatu e Salto. Em relação à sustentabilidade a empresa realiza ações sociais desenvolvidas para comunidades, produtos de reciclagem para o reaproveitamento de resíduos de madeira e redução da poluição no meio ambiente, ações socioambientais, política de compra de madeira e políticas ambientais.

A indústria de painéis reconstituídos de madeira utiliza como matéria-prima a madeira obtida de florestas plantadas de pinus e de eucalipto, correspondendo a um plantio de 500 hectares, empregando cerca 5.500 funcionários segundo a ABIPA (2013). Os principais produtos são os aglomerados e o MDF, utilizados basicamente para a fabricação de móveis, a Figura 2 ilustra a evolução do consumo nacional de produtos florestais de florestas plantadas.

Figura 2 - Evolução do consumo nacional dos produtos florestais oriundos de florestas plantadas.



Fonte: ABIPA (2013), adaptado por BRACELPA (2013)

A SBS (2014), afirma que a produção de painéis de madeira reconstituída em 2007, incluindo aglomerado, chapa dura e MDF, foi cerca de 4,9 milhões m<sup>3</sup> e as exportações alcançaram US\$ 292,2 milhões. Sendo que, os aglomerados foram de aproximadamente 2,6 milhões de m<sup>3</sup>, representando 51,5% do total, seguida pelo MDF com 37,9% e chapa de fibra com 10,6%, enquanto que, a produção de OSB foi de 350 mil m<sup>3</sup>.

Segundo o BNDES (2002) nos últimos 12 anos, o consumo aparente de painéis de madeira apresentou crescimento médio de 7,2% a.a. (11,2% a.a. para os painéis de madeira reconstituída e -4,2% a.a. para os compensados), basicamente em função da qualidade dos novos produtos oferecidos, sobretudo do MDF, e da escassez de madeira maciça.

### **2.1.1. PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA**

A madeira aglomerada é formada de partículas ou lascas de madeira “[...] muito utilizada na indústria moveleira e da construção civil. Estas chapas são produzidas com partículas de madeira e resina [...]” (DIAS, 2008, p.73).

Para Iwakiri et al (2005), citado por Castro e Iwakiri (2014) os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como sarrafos, partículas, lâminas e fibras resultante da diminuição da madeira maciça e transformados por meio de uma junção adesiva. Podem também ser denominadas chapas obtidas pela aglomeração de pequenos fragmentos de madeira como aparas, maravalhas ou flocos.

Os painéis de madeira aglomerada são muito utilizados no Brasil, como descreve Dias et al. (2008); a vantagem destes painéis é sua utilização em grande

escala das espécies de madeira, com o aproveitamento de resíduos originários de serraria ou das indústrias de beneficiamento de madeiras.

De acordo com Bernardi (2014), no Brasil a normalização é recente, surgiu em 2002 a ABNT NBR 14810. Esta norma define um produto em forma de painel, variando de 3mm a 50mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, sob pressão e calor. Os painéis aglomerados não exigem muito em relação à qualidade da madeira, pois apresentam flexibilidade de aplicação para diversos usos.

A granulometria das partículas, os aglomerantes e a pressão exercida na compactação das chapas de mistura, durante a confecção, caracterizam, classificam e diferencia os tipos de chapas de aglomerado e as características físico-mecânicas finais, BAUER (1999).

A Figura 3 ilustra painéis aglomerados de madeira onde se verifica a distribuição granulométrica na espessura.

Figura 3 - Painel de madeira aglomerada.



Fonte: <http://criarecampinas.com.br> (2013)

A geometria das partículas e sua homogeneidade, os tipos de adesivos, a densidade e os processos de fabricação podem ser modificados para produzir produtos adequados aos usos finais e específicos, pois estas propriedades

propiciam estabilidade dimensional aos painéis que os diferenciam da madeira maciça que possuem limitações quanto a esta importante propriedade.

De acordo com a ABNT, a escolha de determinada matéria-prima para a fabricação de chapas depende do seu valor comercial e de sua disponibilidade e durante o processo de fabricação, podem ser ainda incorporados aditivos para promover painéis com características especiais.

A mistura das partículas de madeira com outros materiais, para a fabricação de painéis, tem como finalidade a diminuição dos custos de aquisição de matéria-prima, podendo ser produzida industrialmente "[...] desde que não sejam alteradas negativamente as propriedades físico-mecânicas destes produtos [...]" (MELO et al., 2015, p.35)

Para a confecção dos painéis aglomerados é necessário analisar as espécies de madeira, verificando alguns aspectos importantes, como sua densidade e o pH, fatores influentes na compactação dos painéis e adesão. Segundo Maloney (1993), citado por Colli et al (2010), madeiras de baixa densidade são preferidas porque permitem a fabricação de painéis mais leves e com propriedades adequadas.

Para Iwakiri et al. (2012) a taxa de compactação, que é a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, com valor mínimo de 1,3, deve ser considerada para garantir um campo de contato satisfatório entre as partículas e que propicie compactação suficiente para formação de painéis com densidades adequadas.

As chapas aglomeradas de madeira podem ser confeccionadas a partir de algum material que seja lignocelulósico, que apresente resistência mecânica, física e biológica apropriada. Para a produção das chapas de partículas de madeiras com fibras naturais, como o bagaço de cana-de-açúcar, bambu e casca de arroz, vem

sendo estudadas para verificação da qualidade e a viabilidade da produção de chapas aglomeradas com essas misturas (STANGERLIN et al., 2011).

De acordo com Petrucci (1975), as características do material admitem revestimentos em suas faces como o plástico, os laminados melamínicos e pinturas, devendo ser material que resista ao desgaste, à temperatura alta, água fervente e produtos químicos.

Pierre (2010) descreve que o processo industrial para produção das partículas para confecção das chapas utiliza “toretas” de madeira previamente descascados, transformando-os em cavacos. Esses são transformados em partículas, por meio de moinhos ou refinadores, que são secas em estufas e posteriormente, classificadas em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores a ar. De acordo com Bertolini (2011) a fabricação dos painéis depende diretamente das partículas que definirão sua estrutura, assim como os aditivos e adesivos empregados.

De acordo com a ABNT NBR 14810 - 2:2013, as chapas de madeira aglomerada classificam-se de acordo com sua densidade, natureza do adesivo, geometria da partícula e características complementares.

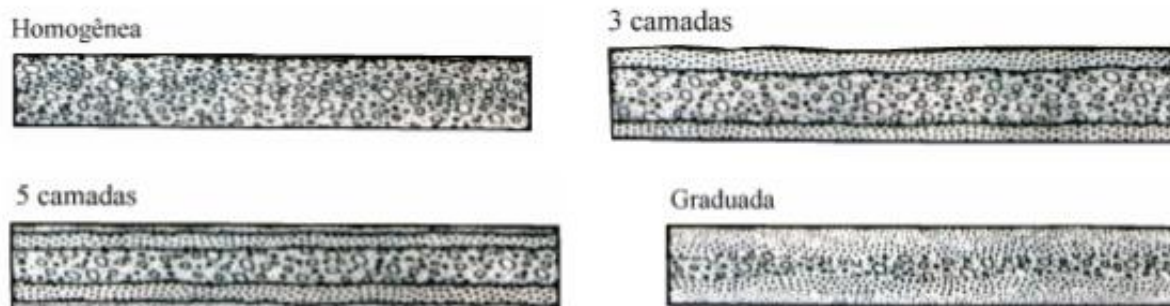
A distribuição das partículas conforme Maloney (1977) citado por Dias (2005) se apresentam em três formas básicas de chapas aglomeradas: homogêneas, múltiplas camadas e graduadas.

- Homogêneas: a mistura das partículas ocorre por acaso;
- Múltiplas camadas: as partículas são mais finas nas faces, e mais grossas no centro.

- Graduadas: as partículas são mais finas sobre as faces da chapa, havendo uma variação gradual da dimensão das partículas por meio das mais finas nas faces, para as mais grossas no centro.

A Figura 4 ilustra um desenho esquemático da composição estrutural dos aglomerados.

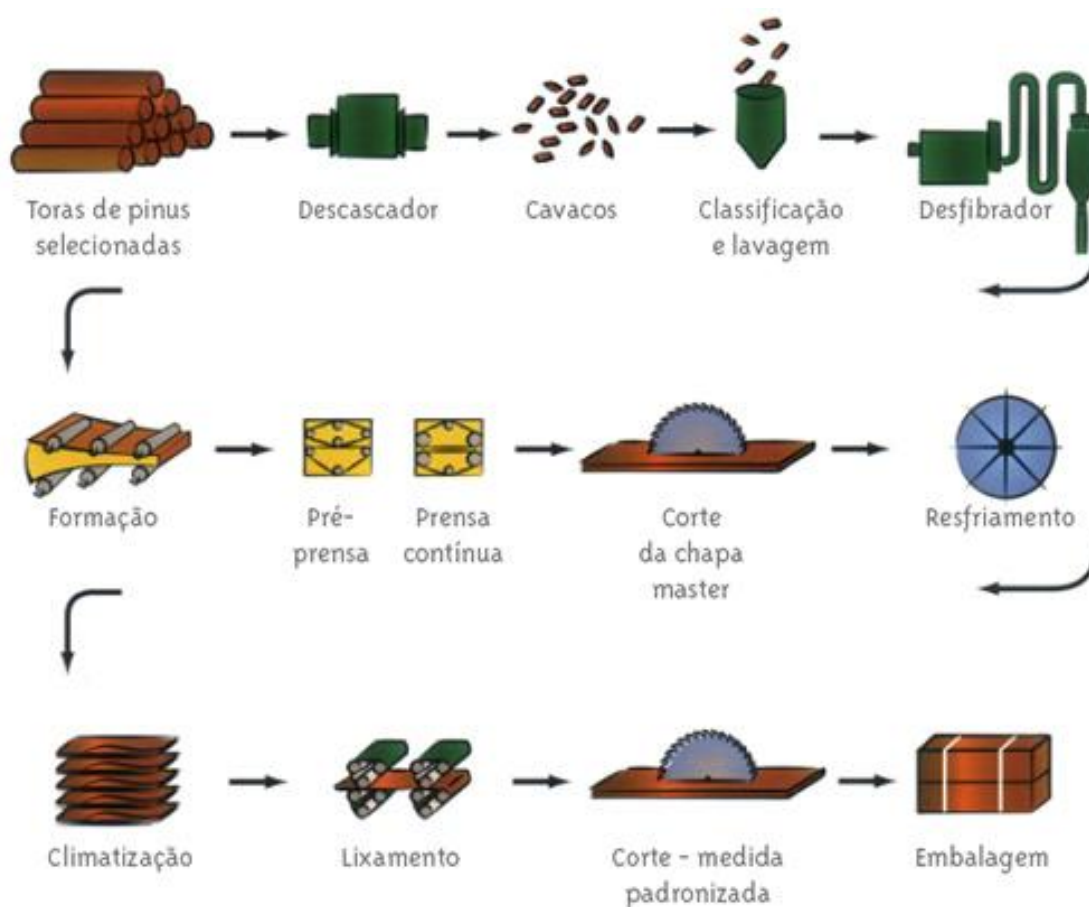
Figura 4 - Composição estrutural dos aglomerados



Fonte: Dias (2005)

De acordo com Bauer (1999) o processo de fabricação das chapas, esquematizado na Figura 5, utiliza madeira bruta, que pode ser de pinho, de eucalipto e de outras espécies, sob o formato de toras, de galhos, que serão conduzidos a equipamentos e transformados em painéis derivados de madeira.

Figura 5- Processo de fabricação das chapas



Fonte: [www.aecweb.com.br](http://www.aecweb.com.br) (2014)

No processo de fabricação dos painéis de partículas são necessários:

- Descascador de partículas: navalhas giratórias, que reduzem em fragmentos pequenos, onde são removidas as cascas da madeira.
- Secadores: Os fragmentos passam pelos secadores com um teor de umidade de 35% a 120%, antes de serem misturados com o aglomerante, que pode ser mineral, como cimento Portland, gesso, ou resinas sintéticas.
- Misturadores de partículas ao adesivo: São equipamentos onde as partículas são misturadas com o adesivo uniformemente, tornando-se um parâmetro importante nesse processo, por conta da adesão.



- Formadora de colchão: A mistura vai se transformar em um colchão de partículas numa esteira, onde será controlado seu peso e suas dimensões para definição da densidade nominal dos painéis.
- Prensa contínua: Responsável pela compactação do colchão de partículas transformando-o em painel por meio de temperatura e pressão.
- Câmaras para cura ou climatização: Após prensagem, os painéis descansarão por 72h em câmara ou climatizadoras para finalização do ciclo de cura do adesivo.
- Acabamento final: Os painéis recebem acabamento final, como, ajuste nas dimensões, lixamento, pintura ou revestimento.

## **2.2 TIPOS DE PAINÉIS PRODUZIDOS INDUSTRIALMENTE**

### **2.2.1. MADEIRA TRANSFORMADA**

Entende-se por madeira transformada de acordo com Petrucci (1975), uma alteração da estrutura fibrosa orientada do material, para corrigir suas características negativas, que consiste em alguns processos; um deles é a “reaglomeração” de fibras de madeira, o outro processo é a “reaglomeração” de pequenos fragmentos, maravalhas ou flocos e finalmente, tem-se o processo de “reaglomeração” por colagem de finas lâminas de madeira.

### **2.2.2 LAMINADOS DE MADEIRA**

Os laminados de madeira são produzidos com finas lâminas de madeira prensada, na maioria utilizada na construção, “[...] as vigas laminadas, são formadas por várias lâminas de madeiras, que são unidas umas as outras para formar uma viga mais grossa [...]” (PATTON, 1978, p.204).

Segundo Patton (1978), no Brasil para formar os laminados são utilizados o mogno, pinho, cedro e a imbuia. A madeira colada para o uso ao tempo deve apresentar de 10% a 12% de umidade antes da colagem.

### **2.2.3 MADEIRA COMPENSADA**

A madeira compensada foi patenteada por Witikowski em 1986, porém sua exploração industrial começou em 1900 nos Estados Unidos e Finlândia.

No período de 1905 a 1935 teve início a fase de desenvolvimento de tecnologia básica, em relação à fabricação de equipamentos para processos de produção de derivados de madeira e de 1936 a 1965, aconteceu a fase de consolidação das indústrias de compensados como importante segmento da indústria madeireira, SBS (2014).

No ano de 1982, ocorreu o aperfeiçoamento em termos de materiais como resinas, catalisadores e de novas máquinas como as prensas, conseqüentemente, houve uma melhora considerável na qualidade dos produtos, bem como na redução dos custos de produção, ABIPA (2013).

De acordo com a Tabela 2, o volume total produzido no ano de 1994 apresentou uma recuperação em relação à produção obtida em 1991, após uma forte queda no período 1980.

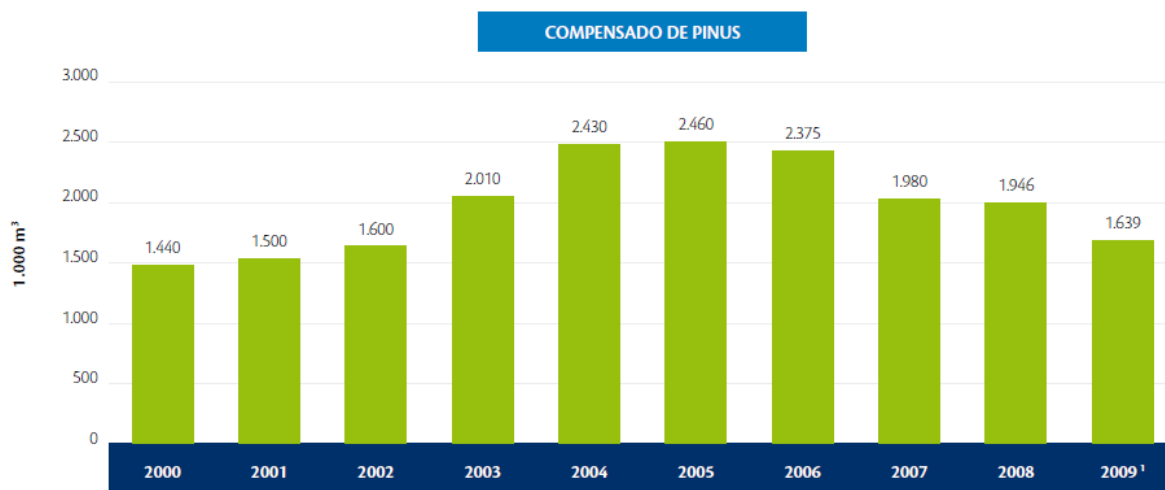
Tabela 2 – Produção de compensados, consumo e exportação em 1.000m<sup>3</sup>

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO
1990	1.050	750	300
1991	1.120	751	369
1992	1.250	770	480
1993	1.600	782	813
1994	1.900	1.002	898
1995	1.600	852	748
1996	1.670	1.012	658
1997	1.650	1.000	650
1998	1.600	980	620
1999	2.200	2.000	1.300
2000	2.470	1.000	1.400

Fonte: ABPM (2001), adaptado por ABIMCI (2009).

A Figura 6 ilustra a evolução histórica do consumo de compensados produzidos a partir de florestas plantadas de pinus no Brasil.

Figura 6 - Evolução do consumo nacional.



Fonte: ABRAF (2006), adaptado por BRACELPA (2013)

Segundo a ABRAF (2006), a produção de compensados de pinus apresentou redução de 15,8% na produção em 2009, em relação a 2008, totalizando 1,6 milhões de m<sup>3</sup>.

O consumo de compensados de pinus é diretamente afetado pela reação observada no mercado externo devido ao grande volume exportado anualmente. Por outro lado, o consumo interno de compensado de pinus aumentou 8,6% em relação a 2008, totalizando 604 mil m<sup>3</sup>. De certa forma, isto é um reflexo do crescimento registrado no segmento de construção civil, consumidor de produtos de madeira, dentre elas o compensado.

Segundo Petrucci (1975) os painéis compensados são formados de folhas de madeira muito finas com suas fibras colocadas perpendicularmente em relação aos planos das laminas. E de acordo com Dias (2008) as lâminas de madeira são justapostas em números ímpares, coladas entre si de maneira que a direção da grã de camadas adjacentes forme um ângulo de 90°.

O sistema de colagem das lâminas de madeira propicia resistência física e mecânica ao compensado. A Figura 7 ilustra painéis de madeira compensada de várias espessuras, evidenciado a organização das lâminas.

Figura 7 - Painéis de madeira compensada



Fonte:<http://www.fortemadeiras.com.br> (2014)

Conforme descreve Dias (2008), o compensado foi o primeiro painel a ser produzido em escala industrial, sendo um dos mais utilizados no mundo. São materiais produzidos com resina à base de uréia-formaldeído, com cura a altas

temperaturas, entre 130°C a 160°C e como vantagens possuem maior resistência e menor variação de dimensões, possibilidade de obtenção de grandes chapas e melhor aproveitamento da madeira.

#### **2.2.4 PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**

Os painéis reconstituídos de madeira surgiram como alternativa ao uso de madeiras maciças, que entraram em regime de restrição na metade do século passado por esgotamento ou limitações dos recursos ambientais.

##### **2.2.4.1 CHAPAS DE FIBRAS DE MADEIRA**

De acordo com Iwakiri (2005), o desenvolvimento da tecnologia de produção de painéis de fibras se deu a partir do século XIX e somente em 1932 foi instalada a primeira fábrica na Alemanha, passando por períodos de desenvolvimento até 1975, quando se iniciou a produção de MDF. No Brasil as indústrias foram instaladas a partir de 1950, quando o país se tornou o exportador dessas chapas com grande potencial internacional.

Segundo o BNDES (2002) a produção mundial de painéis de fibra foi de 9,2 milhões de m<sup>3</sup> em 2000, ou seja, aproximadamente 11% da produção mundial de aglomerado, com um crescimento de cerca de 7% ao ano, no período 1996 a 2000. A China e Estados Unidos são os dois maiores produtores e consumidores, participando com quase 50% do volume mundial. O Brasil posiciona-se como o terceiro produtor e o quarto consumidor mundial, a Tabela 3 apresenta um histórico da produção, consumo, exportação e importação de painéis de fibra no Brasil.

Tabela 3 – Produção, Consumo, Exportação, Importação de painéis de fibra (m<sup>3</sup>).

ANO	PRODUÇÃO	CONSUMO	EXPORTAÇÃO	IMPORTAÇÃO
1994	554.400	273.252	281.230	82
1997	539.230	321.964	233.397	16.131
2000	558.766	363.846	194.920	0

Fonte: Adaptado de ABIPA, 2013

Segundo a ABIPA (2013), os painéis de fibra são produzidos com fibras individualizadas, entrelaçadas e aglomeradas com sua própria lignina e se classificam em função de suas características de uso: isolantes e painéis prensados. Os painéis isolantes possuem densidade baixa, entre 0,02 a 0,15 g/cm<sup>3</sup>, sendo empregados para o uso de isolamento termo-acústico e os painéis prensados, possuem densidade média, entre 0,50 a 0,85g/cm<sup>3</sup>, sendo aplicados em fôrmas de concreto; painéis com pré-acabamento para móveis e divisórias. A Figura 8 ilustra alguns tipos de chapas de fibra, geralmente utilizadas para confecção de móveis.

Figura 8 – Chapa de fibra de madeira.



Fonte: <http://www.somapil.com> (2014)

### 2.2.5 MEDIUM DENSITY FIBERBOARD (MDF)

Do Inglês Medium Density Fiberboard (MDF) é um Painel de Fibra de Média Densidade. Produto homogêneo derivado da madeira, fabricado a partir da madeira

reflorestada de pinus ou eucalipto, um material uniforme que oferece boa trabalhabilidade, podendo receber diversos tipos de revestimentos. É produzido a partir de fibras de madeira aglutinadas com resinas sintéticas e pela ação conjunta de temperatura e pressão, apresentando densidade entre 0,50 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>. A Figura 9 ilustra alguns painéis MDF.

Figura 9 - Painéis de MDF - Medium Density Fiberboard.



Fonte:<http://www.masisa.com> (2014)

Esses painéis, com alta tecnologia de produção, surgiram devido à necessidade de suprir as deficiências dos painéis aglomerados, compensados, principalmente na produção de móveis, pois, dentre suas principais características, possuem excelente estabilidade dimensional, propiciam usinagem e resistem mais a umidade que os painéis aglomerados.

Na Tabela 4 observa-se a cronologia da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil.

Tabela 4 - Evolução histórica da produção, consumo, exportação e importação de MDF no Brasil (m<sup>3</sup>)

<b>ANO</b>	<b>PRODUÇÃO</b>	<b>CONSUMO</b>	<b>EXPORTAÇÃO</b>	<b>IMPORTAÇÃO</b>
2000	381.356	388.878	3.307	10.559
2001	609.072	629.059	3.878	23.865
2002	835.081	705.612	155.039	25.570
2003	1.095.533	1.018.585	217.696	140.748
2004	1.405.996	1.372.464	204.518	170.986
2005	1.407.730	1.394.356	159.809	146.435
2006	1.695.359	1.828.653	73.301	204.595
2007	1.879.072	2.032.541	42.185	195.654

Fonte: Adaptado de ABIPA, 2013

No Brasil as fábricas de MDF possuem capacidade nominal instalada de 2,0 milhões de m<sup>3</sup> por ano. O MDF cresce em utilização e vem ocupando o mercado de madeira maciça e de outros painéis reconstituídos. De acordo com a Tabela 4, a produção de MDF em 2007, foi cerca de aproximadamente 1,9 milhão de m<sup>3</sup>, um aumento de 10,8% comparado com a produção do ano anterior. Para o período de 2000 a 2007 o MDF apresentou um crescimento da ordem de 392,7% na produção e 422,7% no consumo. Em 2007, as exportações com aproximadamente 42,2 mil m<sup>3</sup>, representaram queda de 42,4%, comparado com as exportações de 2006. As importações em 2007 atingiram 195 mil m<sup>3</sup>, representando 4,37% a menos do que em 2006, SBS (2014).

A produção mundial do MDF duplicou entre 1996 e 2000, correspondendo a um crescimento de 18% e seus maiores produtores são a China, a Alemanha e os Estados Unidos.

As exportações brasileiras de MDF, no ano de 2009, foram destinadas principalmente à França e ao México, representando em conjunto 31% do total, que correspondeu respectivamente a 9,1 mil m<sup>3</sup> e 7,7 mil m<sup>3</sup>. A participação dos outros países que agrupados foram responsáveis pela importação de cerca de 24 mil m<sup>3</sup> de



MDF produzidos no Brasil e que representaram 46% do total exportado em 2009, BNDES (2002).

Devido ao uso relativamente especializado e nobre que se prevê para as chapas MDF, a matéria-prima preferida para sua fabricação é proveniente de madeira de florestas plantadas, com características uniformes e preferencialmente, de baixa densidade, de massa e cor clara, sendo o pinus a madeira mais utilizada, SBS (2014).

### 2.2.6 ORIENTED STRAND BOARD (OSB)

O painel Oriented Strand Board (OSB), ilustrado na Figura 10, são fabricados com tiras de madeiras orientadas, coladas com resina à prova d'água, prensadas sob temperatura e utilizados como painel estrutural; suas partículas são organizadas aleatoriamente ou perpendicularmente. Por se tratar de um painel estrutural, possui capacidade de “contraventar” estruturas de madeira e aço.

Figura 10 – Painéis Oriented Strand Board (OSB).



Fonte: <http://www.trada.co.uk/topics/engineeredwood> (2014)

A produção comercial do OSB teve início na região dos Grandes Lagos no Canadá, utilizando-se da madeira de bétula (*Populus sp*), logo teve uma

expansão pela América do Norte bem significativa, tendo uma importância no mercado internacional grande, devido seu emprego nas construção de habitações.

O OSB se inseriu no mercado mundial desde o início da década de 1980. Os países que mais utilizavam esse painel eram os Estados Unidos e Canadá, com maior emprego na construção civil, tendo seu crescimento na América do Norte.

No ano de 2000, a produção de OSB significou 50% do total de painéis estruturais produzidos no mercado da América do Norte (IWAKIRI, 2003 citado por NASCIMENTO e MORALES, 2008).

Os painéis OSB produzidos no Brasil têm sua origem no Grupo Masisa, com sedes no Chile e Argentina. No Brasil, a empresa foi instalada no ano de 1995, no Paraná, na cidade de Ponta Grossa que em 2001, produziu 2.976.000 m<sup>3</sup> de painéis destinados ao consumo brasileiro (NASCIMENTO e MORALES, 2008).

### **2.2.7. MEDIUM DENSITY PARTICLEBOARD (MDP)**

Os painéis de madeira denominados Medium Density Particleboard (MDP), ilustrados na Figura 11, são painéis de partículas de média densidade, produzidos com a aglutinação entre partículas de madeira com resinas especiais, através da aplicação simultânea de temperatura e pressão, resultando em um painel homogêneo e de grande estabilidade dimensional.

Figura 11 - Painéis MDP.



Fonte: <http://www.masisa.com> (2015)

No processo de fabricação dos MDP, suas partículas são classificadas e separadas por camadas, as mais finas são depositadas na superfície, enquanto que aquelas de maiores dimensões são depositadas em camadas internas. Os MDP possuem densidade elevada nas camadas superiores (0,95 a 1,0 g/cm<sup>3</sup>) em comparação ao MDF (0,80 g/cm<sup>3</sup>), essa característica assegura melhor acabamento para pinturas, impressão e revestimentos, IPT (2009).

O MDP possui partículas de várias dimensões distribuídas aleatoriamente, o que proporciona boa homogeneidade das camadas externas e internas. Possui boa resistência à flexão, ao empenamento e ao arrancamento de parafusos, boa estabilidade dimensional e boa resistência a absorção de umidade.

Segundo a SBS (2014), os principais importadores de MDP brasileiro são representados por 18 países sul americanos. A Argentina, Colômbia, Bolívia, Paraguai e Peru, importaram juntos 19.578 m<sup>3</sup> de MDP em 2009, correspondendo a 94% do total das exportações brasileiras.

Na Tabela 5 observa-se um histórico da industrialização de MDP no Brasil entre os anos de 2007 a 2012.

Tabela 5 - Produção, importação, exportação e consumo interno em 1.000 (m<sup>3</sup>) de MDP no Brasil.

ANO	PRODUÇÃO	IMPORTAÇÃO	EXPORTAÇÃO	CONSUMO INTERNO	CAPACIDADE NOMINAL INSTALADA (m <sup>3</sup> )
2007	2.557.141	28.080	37.390	2.547.831	3.085,000
2008	2.617.066	42.520	26.640	2.632.946	3.265,000
2009	2.488.915	36.271	25.761	2.499.425	4.020,000
2010	3.017.902	15.388	16.235	3.017.055	4.544,000
2011	3.069.718	1.470	23.993	3.047.195	4.790,000
2012	3.260.646	2.699	30.612	3.232.733	4.790,000

Fonte: SECEX, adaptado por ABIPA (2013)

### 2.2.8 MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)

A MLC é o grupo de derivados de madeiras representado por vigas formadas por várias lâminas, unidas por colagem, dispostas de modo que suas fibras fiquem paralelas entre si. A técnica surgiu da necessidade de utilização da madeira de reflorestamento, principalmente o Pinus, encontrada em abundância nos países do hemisfério norte, Cavalheiro (2014).

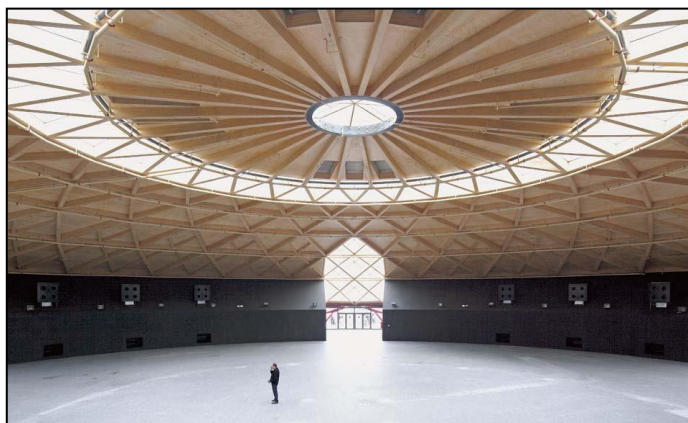
Segundo Azambuja (2006) a madeira laminada colada surgiu na Europa, sendo utilizada em sistemas estruturais internos, com a evolução da tecnologia e dos materiais, passou a ser empregada em sistemas estruturais expostos, introduzida nos Estados Unidos da América, foi utilizada em diversas construções de grande porte.

O uso da MLC vem se intensificando no mundo e no Brasil principalmente devido a determinadas características específicas de uso, tais como suportar altas cargas, ter baixo peso próprio, proporcionar grande flexibilidade em curvaturas, ter alta resistência ao fogo, excelente estabilidade dimensional em elementos

estruturais, resiste a substâncias químicas e por ser uma matéria-prima renovável, oriunda de florestadas plantadas, Revista da Madeira (2010).

A Figura 12 ilustra uma das aplicações da MLC evidenciando a plasticidade do material, a capacidade de vencer grandes vãos e o maravilhoso efeito estético das figuras geométricas que compõem o conjunto das estruturas.

Figura 12 - Aplicações de MLC em sistemas estruturais de cobertura.



Fonte: <http://casa.abril.com.br/matéria> (2015)

### 2.3. RESÍDUOS

De acordo com a ABNT NBR 1004 (2004) os resíduos podem ser definidos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços ou de varrição. O resíduo industrial quando gerado em diversas áreas de produção, geralmente não é utilizado para outros fins, sendo descartado de forma incorreta, causando prejuízos ambientais.

A resolução 307 do CONAMA (2002) considera os geradores de resíduos da Construção Civil responsáveis pelo seu destino. Eles deverão ter como objetivo primordial a não geração de resíduos e secundariamente, a redução, reutilização, reciclagem e destinação final. Os Estados e municípios devem elaborar suas

políticas de gestão de resíduos, nas quais devem ser prevista a implantação de ATT, para onde deverão ser encaminhados os resíduos da construção civil, entre eles os de madeira, para que possam ser segregados, reutilizados, reciclados ou tenham a correta destinação.

Uma das soluções para diminuir o descarte inadequado e reutilizar os resíduos é a criação de novos produtos a partir do resíduo resultante das indústrias, entretanto, que atendam a critérios de eco-eficiência, neste caso reduzindo a utilização de recursos energéticos e principalmente economizando matéria-prima, conseqüentemente, baixando os custos de produção ao utilizar as sobras da produção primária.

Os resíduos podem ser considerados matéria-prima classificada como sendo alternativa, à medida que a reutilização dessa matéria seja economicamente viável e em termos de sustentabilidade, consuma os recursos existentes de maneira mais proveitosa, agregando um valor maior a esse material e beneficiando o meio ambiente.

Para que a gestão desses resíduos seja adequada, é necessário que haja um planejamento de uso desde sua geração para aproveitamento das sobras na linha de produção, no processo de tratamento e na sua disposição final, pois, desta forma, propiciará um benefício para o produtor e para o meio ambiente, podendo ganhar créditos de sustentabilidade, como um produto ecologicamente correto.

Resíduos provenientes da produção agrícola vêm sendo utilizado visando o aproveitamento dos recursos naturais existentes no Brasil, buscando-se também alternativas que sejam economicamente viáveis para o estudo e aplicação em diversas áreas de pesquisa (TITA; PAIVA; FROLLINI, 2002).

Assim como os resíduos industriais, os agrícolas também têm despertado interesse quanto a sua reutilização, pois, nos dias atuais são materiais abundantes em quantidade e com baixo custo que muitas vezes são removidos dos campos para serem queimados, provocando problemas de poluição ambiental (ALBERTINI; CARMO; PRADO FILHO, 2007).

### **2.3.1 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MADEIRA**

As indústrias de base florestal geram no Brasil um volume significativo de resíduos durante as fases operacionais, desde a exploração florestal até o produto final (IWAKIRI et al, 2000). De acordo com (CERQUEIRA et al. 2012) o volume de perdas e o não aproveitamento dos resíduos florestais na indústria, são considerados grande, até mesmo em pequenas marcenarias e serrarias.

Segundo Albertini, Carmo e Prado Filho (2007) a geração de resíduos florestais no Brasil tem mostrado valores expressivos, considerando sua utilização na cadeia produtiva, produzindo 22,5 milhões de toneladas de madeira serrada, gerando assim 22,5 milhões de toneladas de resíduos, significando um problema econômico e ambiental para o país que as indústrias ainda não sabem o que fazer com esses subprodutos.

As indústrias moveleiras tratam os resíduos como lixo resultante do processo de produção e enfrentam problemas para sua destinação (ABREU et al., 2009).

A geração de resíduos, independentemente do tipo de indústria madeireira, é uma consequência direta do processamento primário ou secundário da

madeira sólida. Para Fontes (1994), de acordo com as características morfológicas, os resíduos industriais são classificados como:

- Cavacos: partículas com dimensões máximas de 50x20mm, provenientes de uso de picadores;
- Maravalhas: resíduo com menos de 2,5mm;
- Serragem: partículas de madeira com dimensões entre 0,5mm e 2,5mm, provenientes do uso de serras;
- Pó: resíduos menores que 0,5mm;
- Lenha: resíduos de maiores dimensões, compostos por costaneiras, aparas e resíduo de topo de tora.

O processamento primário gera a maioria dos resíduos, apesar de algumas variantes, determinadas por alguns fatores, como o tipo de processo, máquinas utilizadas, dimensões e características físicas das toras (CERQUEIRA et al. 2012).

Segundo Narciso et al. (2014) a identificação dos resíduos que são provenientes do processamento (desdobro) da madeira são elementos essenciais para a análise das possibilidades de aplicação e bom emprego de outros bens.

A Figura 13 ilustra alguns aspectos de resíduos de madeira de serraria.



Figura 13 - Resíduo de madeira de serraria.



Fonte: <http://www.ciflorestas.com.br> (2015)

A perda de material na forma de sobras ou resíduos, nos cortes de “resserra” de madeira é em torno de 20% a 40% e o aproveitamento de toda a árvore pelas indústrias madeireiras está em torno de 30% a 60%. O processamento de toras de madeira, além de ser uma variável muito importante para o gerenciamento da produção, é responsável por uma parcela significativa dos impactos ambientais causados pela produção de madeira serrada (NARCISO et al., 2014).

Uma alternativa de aproveitamento mais adequado de resíduos do processamento de madeiras é a produção de painéis de madeira aglomerada, pois esse é um processo que se caracteriza pela modificação da madeira sólida em partículas pequenas e secas, que podem ser provenientes de serrarias, como, aparas e refilos. Quando combinadas com resinas, sob pressão e calor, resultam em chapas com valor agregado de excelentes qualidades (IWAKIRI et al., 2000).

Alves e Silva (2014) produziram e avaliaram chapas a partir de resíduos coletados em indústrias madeireiras, com resina bicomponente (derivada de óleo de mamona) e densidade nominal de  $0,80 \text{ g/cm}^3$ , espessura nominal de 10mm, 10% de

resina base peso seco, tempo de prensagem de 10min, temperatura de prensagem de 110°C e pressão de prensagem de 5 MPa.

Diante das avaliações realizadas e dos argumentos sobre os resultados obtidos, concluiu-se que os painéis de partículas confeccionados com partículas de madeira de fábricas 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 (ALVES E SILVA, 2014).

### **2.3.2 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

A cana-de-açúcar chegou ao Brasil em 1522, originária da Índia e explorada nos dias atuais em quase todo o país. Está sendo cultivada em 5,4 milhões de hectares, sendo considerado o produto com maior produção no mundo, com maior extensão territorial e com maior potencial de expansão de áreas plantadas (ALBERTINI; CARMO; PRADO FILHO, 2007).

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, oferecendo uma área total de plantio de 4,2 milhões de hectares, representando 7,5% da área cultivada.

De acordo com Albertini, Carmo e Prado Filho (2007) a queima dos canaviais é classificada como uma atividade poluidora, que degrada o meio ambiente e ocasiona problemas de saúde pública, pois são propagados por ano na

atmosfera aproximadamente 64,8 milhões de toneladas de gás carbônico, colaborando para a redução da qualidade do ar e a elevação do efeito estufa.

Para Manzano et al. (2000) a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*, L.) é uma planta de suma importância para a economia brasileira, geradora de empregos possuindo em sua composição em torno de 30% de caldo, sendo o restante constituído por biomassa (palha e bagaço) e compostos inorgânicos como a sílica. A utilização vai desde a produção de energia térmica à indústria de papel e celulose, além de alimentação animal.

Dentre os subprodutos da indústria sucroalcooleira, o bagaço de cana-de-açúcar, ilustrado na Figura 14, representa um volume de 280 kg/ton. de cana moída e considerado o principal subproduto da agroindústria brasileira, que pode ser reutilizado como adubo, fonte de energia e outros (SANCHEZ et al., 2010).

Figura 14 - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: <http://iepec.com> (2015)

De modo geral, o bagaço da cana-de-açúcar tem aproximadamente 45% de fibras de material lignocelulósico, de 2% a 3% de sólidos insolúveis e de 2% a 3% de sólidos solúveis. É proveniente de fonte renovável e subproduto de usinas de álcool e açúcar; é um material complexo formado por polímeros naturais composto

de celulose e hemicelulose e pode ser aproveitado para produção de energia (SANTOS et al., 2011).

A última moagem da cana, reproduz um bagaço formado por um conjunto de partículas heterogêneo (grãos e fibras) com dimensões que variam de 1mm a 25mm, com tamanho médio de 6mm, podendo variar, de acordo com a máquina utilizada no processo da cana.

As fibras componentes do bagaço de cana-de-açúcar muitas vezes são agrupadas em vários materiais termoplásticos como um tipo de carga ou reforço, pois as pesquisas que vem sendo realizadas mostram a viabilidade da utilização dessas fibras naturais como uma alternativa em substituição para as fibras sintéticas existentes no mercado, na aplicação de embalagens e até na construção civil.

Para Sanchez et al., (2010), Tita, Paiva e Frollini (2002), o interesse se deve as fibras vegetais serem fontes renováveis de matéria-prima, reduzem o impacto ambiental e os custos, possuem baixa densidade, flexibilidade no processamento, são adaptáveis, não-abrasivas, porosas, visco elásticas, combustíveis, reativas e biodegradáveis.

Comparadas com outras fibras, a de bagaço de cana-de-açúcar "[...] apresentam menor resistência a tração e menor módulo de elasticidade, maior umidade e melhor degradabilidade devido ao alto teor de hemicelulose (27%) e lignina (21%) [...]" (SANCHEZ et al., 2010, p.194).

Segundo Freire e Beraldo (2003) o bagaço de cana-de-açúcar são altamente apropriados para a fabricação de aglomerados, compensados, polpa celulósica e alguns tipos de papel.

Alguns autores relatam sobre o aproveitamento do bagaço como um material alternativo para a construção civil, pois, desde 1981 nos Estados Unidos,

Suécia, Canadá, Grã-Bretanha e Europa, algumas indústrias fabricam painéis laminados com cimento e bagaço de cana-de-açúcar, entretanto, possuem pouca resistência em meio alcalino.

Sartori (2012) desenvolveu estudos na fabricação de painéis portantes com bagaço de cana, obtidos de usinas sucroalcooleiras. O material foi seco ao ar livre, peneirado e processado em moinho de facas para produção de chapas aglomeradas, considerando-se o emprego de resina poliuretana derivada de óleo de mamona, pressão de prensagem de 5 MPa e temperatura de 100°C; com as avaliações realizadas foi possível concluir que é viável a produção de chapas aglomeradas de alta densidade.

## **2.4 ADESIVO**

Após a primeira guerra mundial, os adesivos utilizados na época eram de origem de proteína animal, logo depois, resistentes à água e à temperatura. Sendo eles utilizados até os dias atuais por muitas indústrias na colagem de madeira, Dias (2005).

Para Negrão et al. (2014) as tecnologias para fabricação dos derivados de madeira tiveram grande impulso com o surgimento dos adesivos sintéticos, em especial aqueles à base de uréia-formaldeído (UF). Na década de 30 foi criada a resina sintética à base de fenol-formaldeído, ainda hoje, em países como Brasil, a produção de painéis aglomerados é realizada empregando-se esse adesivo.

De acordo com alguns estudos esses tipos de resinas têm apresentando alguns pontos insatisfatórios devido à baixa resistência à ação de umidade e quando aquecida no processo de fabricação, produz emissão de gás formaldeído,

prejudicando o meio ambiente. Portanto há necessidade de encontrar um substituto com igual qualidade e desempenho às resinas tradicionais (ZAU et al., 2014).

#### **2.4.1 UTILIZAÇÃO DA RESINA POLIURETANA À BASE DE MAMONA**

A resina poliuretana derivado de mamona originou-se na década de 1940, conforme aponta Vilar (1993), citado por Bertolini (2011). Ainda para o mesmo autor, o óleo da mamona é extraído da semente da planta *Ricinus Communis*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, abundante no Brasil.

Para Dias (2008), a partir do óleo de mamona, torna-se possível sintetizar polióis e pré-polímeros com características diferenciadas, que quando são misturadas, dão origem a poliuretana.

Atualmente, muitas pesquisas vem sendo desenvolvidas com a resina poliuretana à base de mamona para a produção de derivados de madeira e os resultados obtidos indicam a possibilidade de utilização destes materiais na produção de móveis e de modo geral na construção civil. Além do que a resina é proveniente de fontes renováveis, é biodegradável e propicia excelentes benefícios ambientais.

### **3. OBJETIVO**

O objetivo deste estudo é avaliar a influência da granulometria de misturas de partículas de madeiras provenientes de marcenarias associadas a partículas de bagaço de cana-de-açúcar e adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona, no desempenho de “Painéis de partículas de média densidade” segundo a ABNT NBR14810 - 1 e 2:2013.

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

A proposta metodológica para este estudo se baseou na ABNT NBR14810-1 e 2:2013 que descreve os “requisitos e métodos de ensaios para avaliação de painéis de partículas de média densidade” do Tipo P2, ou seja, “Painéis não estruturais para uso interno em condições secas”. Conseqüentemente foram confeccionados e avaliados painéis de partículas de madeira com resíduos de marcenarias e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, empregando-se 10% de PU-Mamona.

Outro importante procedimento metodológico desenvolvido foram os ensaios para a avaliação da composição granulométrica das partículas utilizadas para confecção dos painéis. Estes ensaios foram realizados com base na ABNT NBR NM 248:2003 e ressalta-se que a determinação da composição granulométrica das partículas utilizadas, objetivou avaliar a influência da granulometria no desempenho das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

##### **4.1. PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

O bagaço de cana utilizado neste trabalho foi coletado em Usinas Sucroalcoleiras do Município de Ilha Solteira e é proveniente de cana-de-açúcar da espécie *Saccharum officinarum* e apresentam densidade aparente de 0,092g/cm<sup>3</sup>.

Objetivando-se obter partículas com dimensões adequadas para propiciar maior homogeneidade à serragem e por considerar que a densidade das partículas do bagaço de cana poderá facilitar na compactação das chapas e melhorar a adesão entre as partículas, foram desenvolvidos procedimentos para preparação do bagaço de cana-de-açúcar objetivando obter-se partículas na faixa de 4mm a 6mm.

Após coletado o bagaço de cana-de-açúcar foi seco em estufa por período de 72h à temperatura de  $60^{\circ}\text{C} \pm 2$ . Em seguida foi processado em moinho de facas conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15 - Ilustração do processamento do bagaço de cana em moinho de facas, para produção de partículas.



Processamento do bagaço de cana em moinho de facas



Partículas com comprimento de 4mm a 6mm

Fonte: Acervo do autor.

## 4.2 PREPARAÇÃO DAS PARTÍCULAS DE MERCENARIA

Realizou-se um peneiramento na serragem coletada das mercenarias, objetivando-se obter partículas na faixa de 2mm a 6mm de comprimento. Esta seleção de partículas foi realizada utilizando-se um conjunto de peneiras com malhas de 12,5mm; 9,52mm; 6,36mm; 4,36mm e 2,36mm, conforme ilustrado na Figura 16.



Figura 16 - Conjunto de peneiras com dispositivo vibratório.



Fonte: Acervo do autor

### 4.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Vale ressaltar que os estudos foram desenvolvidos em duas etapas conforme descrito a seguir.

#### **PRIMEIRA ETAPA:**

Inicialmente foram realizadas análises a partir das dissertações intituladas “Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados”, Alves (2013) e “Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduo de marcenaria industrial”, Marton (2014), ambos sob a orientação do autor.

**SEGUNDA ETAPA:**

A partir das análises dos resultados obtidos nas dissertações supracitadas, elaborou-se proposta para confecção de novos painéis de partículas de média densidade utilizando-se misturas dos resíduos estudados nas dissertações e empregando-se o adesivo PU-Mamona, considerando-se, entretanto, ajustes na composição granulométrica das partículas e a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar na faixa granulométrica de 4mm a 6mm.

**4.4. PARÂMETROS NORMATIVOS ADOTADOS PARA CONFECÇÃO DOS PAINÉIS**

Com base nos documentos normativos ABNT NBR 14810 - 1 e 2:2013 foram confeccionados painéis nas dimensões de (40x40x1)cm e de acordo com os estudos desenvolvidos por Marton (2014), para melhorar a qualidades das propriedades físicas e mecânicas dos painéis confeccionados com partículas de madeira provenientes de marcenarias, foi determinado em seus estudos a necessidade de ajustes na composição granulométrica das partículas de marcenaria.

Com relação à preparação dos painéis foi empregado pressão de prensagem de 50kgf/cm<sup>3</sup>, temperatura de 100<sup>0</sup>C e tempo de prensagem de 10 minutos.

## 4.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS PAINÉIS

### 4.5.1. DENSIDADE APARENTE DOS PAINÉIS

O ensaio foi realizado em corpos de prova de 50x50x10mm e seu cálculo, empregando-se a Equação 1.

$$\delta = \frac{m_{cp}}{v_{cp}} \quad \text{EQUAÇÃO 1}$$

Onde:

$\delta$  = densidade aparente dos painéis de partículas (g/cm<sup>3</sup>);

$m_{cp}$  = massa do corpo-de-prova (g);

$v_{cp}$  = volume do corpo-de-prova em cm<sup>3</sup>.

### 4.5.2. TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS

O ensaio foi realizado em corpos-de-prova de 50x50x10mm de acordo com a equação 2:

$$U = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad \text{EQUAÇÃO 2}$$

Onde:

$U$  = teor umidade residual (%);

$m_u$  = massa úmida expressa em (g);

$m_s$  = massa seca expressa em (g).

### 4.5.3 INCHAMENTO DOS PAINÉIS

O ensaio foi realizado em corpos-de-prova de 25x25x10mm empregando-se a Equação 3.

$$I = \frac{e_1 - e_0}{e_0} .100 \quad \text{EQUAÇÃO 3}$$

Onde:

$I$  = inchamento em espessura do corpo-de-prova (%);

$e_1$  = espessura do corpo-de-prova após o período de imersão considerado em (mm);

$e_0$  = espessura do corpo-de-prova antes da imersão em (mm).

### 4.5.4. RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

O ensaio de flexão estática foi realizado em corpos-de-prova nas dimensões 250x50x10mm e para o cálculo do módulo de ruptura (MOR) empregou-se a equação 4.

$$MOR = \frac{1,5 . (P . D)}{B . (E)^2} \quad \text{EQUAÇÃO 4}$$

Onde:

$MOR$  = módulo de resistência à flexão estática (N/mm<sup>2</sup>);

$P$  = carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);

$D$  = distância entre os apoios do aparelho (mm);

$B$  = largura do corpo-de-prova (mm);

$E$  = espessura do corpo-de-prova (mm).

#### 4.5.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para o cálculo do MOE, utilizou-se a equação 5.

$$MOE = \frac{P_1 \cdot D^3}{d \cdot 4 \cdot B \cdot E^3} \quad \text{EQUAÇÃO 5}$$

Onde:

$MOE$  = módulo de elasticidade ( $N/mm^2$ );

$P_1$  = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

$D$  = distância entre os apoios do aparelho (mm);

$d$  = deflexão correspondente à carga  $P_1$  (mm);

$B$  = largura do corpo-de-prova (mm);

$E$  = espessura média tomada em três pontos do corpo-de-prova (mm).

#### 4.5.6 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR

Para os ensaios de tração perpendicular, foram preparados corpos-de-prova nas dimensões 50x50x10mm e para o cálculo da resistência utilizou-se a equação 6.

$$TP = \frac{P}{S} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$TP$  = resistência à tração perpendicular ( $N/mm^2$ );

$P$  = carga na ruptura (N);

$S$  = área da superfície do corpo-de-prova ( $mm^2$ ).

#### **4.5.7 DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA**

Este ensaio se constituiu de uma adaptação do ensaio de ABNT NBR NM 248:2003, intitulado: “Agregados - Determinação da composição granulométrica”.

A classificação granulométrica das partículas de madeira foi realizada em amostras com massa nominal de 500g e de acordo com a orientação do documento normativo, utilizou-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 0,075mm.

Para cada amostra retida nas peneiras, calculou-se a massa em porcentagem retida, com aproximação de 0,1%; calcularam-se as porcentagens médias retidas e acumuladas em cada peneira, com aproximação de 1% e determinou-se o módulo de finura, com aproximação de 0,01%.

### **5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA**

#### **5.1 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DAS FÁBRICAS DE MÓVEIS**

Conforme mencionado no capítulo metodologia, foram realizadas avaliações nas partículas de fábricas de móveis e de marcenarias, buscando-se verificar a influencia da granulometria no desempenho físico e mecânico dos painéis.

Para avaliação da composição granulométrica das partículas das fábricas de móveis utilizou-se massa aparente de 503,16g de partículas com o objetivo de

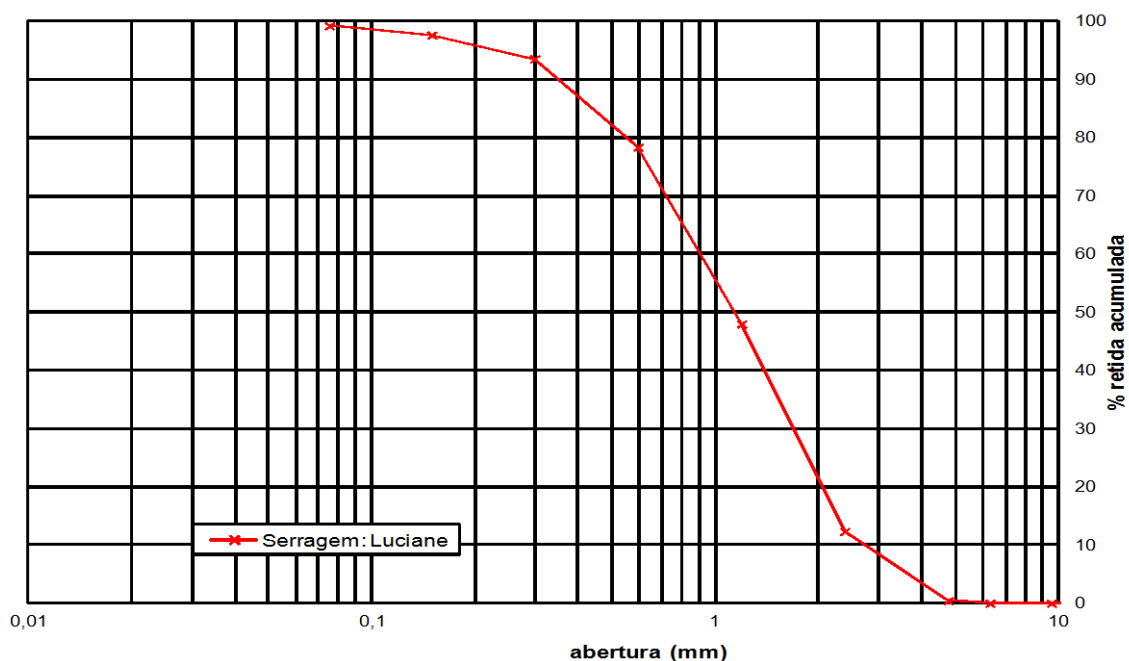
avaliar as proporções de comprimento entre partículas, utilizadas para confecção dos painéis. A Tabela 6 e a Figura 17 ilustram os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados para composição granulométrica das partículas do resíduo.

Tabela 6 - Resumo do ensaio de granulometria das partículas de madeira das fábricas de móveis.

ALUNO: LUCIANE SIMAL ALVES													
LOCAL: LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL - FEIS													
AMOSTRA : SERRAGEM													
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO						OBSERVAÇÃO : 17/09/2013							
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							
<b>Total</b>			<b>503,16</b>	<b>99</b>	<b>3,30</b>								
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		

Fonte: Acervo do autor

Figura 17 - Curva granulométrica dos resíduos das indústrias moveleiras



Fonte: Acervo do autor

De acordo com a literatura sobre produção de painéis, o comprimento das partículas deve se encontrar na faixa entre 2mm a 6mm e, conforme se verifica nos resultados dos ensaios para determinação da granulometria dos resíduos provenientes das fábricas de móveis, essa faixa encontra-se 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 de 35,65% na faixa adequada para confecção de painéis com o percentual de 64,35% contendo partículas na faixa de 1 a 0,08mm, é possível inferir que há necessidade de se aumentar a porcentagem de partículas na faixa entre 4mm a 6mm com o objetivo de se obter um material mais homogêneo e adequado para produção de painéis de partículas de média densidade.

Em estudos desenvolvidos por Weber (2011), verificou-se a produção de painéis com partículas de tamanhos majoritariamente na faixa entre 0,84mm a



2,00mm etes painéis apresentaram desempenho físico-mecânico satisfatórios e em estudos desenvolvidos por Pinheiro e Brito (2000), comparando o desempenho de painéis de partículas com duas composições diferentes de distribuições granulométricas, sendo uma com partículas com comprimento de 2,00mm a 6,87mm e outra com partículas com comprimento de 2,00mm a 7,87mm; verificou-se que os painéis com partículas de até 7,87mm apresentaram valores de propriedades mecânicas superiores aos painéis confeccionados com partículas até 6,87mm, ou seja, evidenciando que o comprimento das partículas pode influenciar na obtenção de melhores propriedades mecânicas.

## **5.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DE MADEIRA DE MARCENARIAS.**

A Tabela 7 e a Figura 18 ilustram os resultados dos ensaios realizados para determinação da composição granulométricas do resíduo das marcenarias industriais.

Tabela 7 - Resumo do ensaio de granulometria das partículas de madeira de marcenarias.

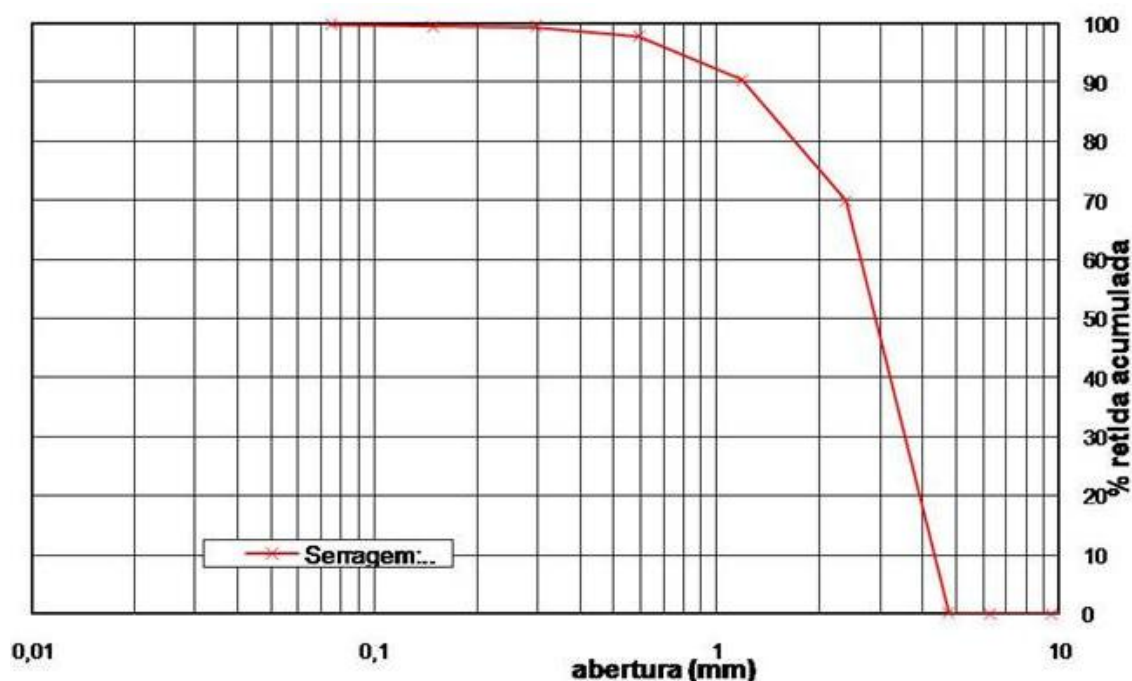
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (kg)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1		0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19		0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7		0,00		0,00	100,00
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	0,50	0,10	0,10		99,90
N.º 8	-	2,38	349,25	69,84	69,94		30,06
N.º 16	-	1,19	102,25	20,45	90,38		9,62
N.º 30	-	0,595	37,45	7,49	97,87		2,13
N.º 50	-	0,297	7,42	1,48	99,35		0,65
N.º 100	-	0,149	0,54	0,11	99,46		0,54
fundo	-	0,075	1,89	0,38		99,84	
Total			500,10	100	4,57		

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
Serragem	99,84	99,46	99,35	97,87	90,38	69,94	0,10	0,00	0,00	0		

Fonte: Acervo do autor

Figura 18 - Curva granulométrica dos resíduos das marcenaris.



Fonte: Acervo do autor

Considerando-se que a faixa granulométrica adequada para confecção dos painéis de partículas é de 2mm a 6mm, evidenciou-se com no ensaio de granulometria para massa nominal de 500,10g, retenção de 0,10% (0,50g) de partículas na peneira de número 4; retenção de 69,94% (349,25g) de partículas na peneira de número 8 e retenção de 20,45% (102,25g) de partículas na peneira de número 16. Verifica-se ainda na Tabela 7, retenção de partículas com comprimento menor que 1,19mm e maior que 0,149mm de 9,08% (45,41g). De acordo com a análise da distribuição granulométrica, o percentual retido de partículas na faixa de 6mm é muito baixo, em torno de 0,10% num total de 500,10g da massa ensaiada de partículas, enquanto que, relativamente alto, na faixa de 69,94%. De acordo com a literatura é necessário aumentar a massa de partículas na faixa de 4mm a 6mm de comprimento.

### 5.3 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

Na Tabela 8 estão apresentados os principais valores das propriedades físicas dos painéis de partículas das dissertações estudados nas dissertações de Alves (2013) e de Marton (2014); sendo que, para facilitar a compreensão das informações apresentadas, serão definidas como PAINÉIS A e PAINÉIS B, respectivamente.

Tabela 8. Propriedades físicas dos PAINÉIS A e dos PAINÉIS B.

PROPRIEDADES	PAINÉIS A	PAINÉIS B	ABNT NBR 14810-1 e 2:2013
DENSIDADE MÉDIA (g/cm <sup>3</sup> )	0,84	0,73	0,55 a 0,75
TEOR DE UMIDADE (%)	6,75	7,65	5 a 13
INCHAMENTO EM 24h (mm)	15,51	24,27	18

Fonte: Acervo do autor

#### 5.3.1 DENSIDADE APARENTE

Conforme se observa na Tabela 8 os PAINÉIS A, confeccionados com resíduos de fabricas de móveis, se apresentaram com maiores densidades com relação ao intervalo proposto pela ABNT NBR14810-1:2013. Este aspecto pode estar relacionado à qualidade do resíduo, que é composto por partículas de madeira de baixa densidade para produção de móveis, propiciando facilidade de compactação, conseqüentemente, maior aproximação entre as partículas e maior impregnação do adesivo.

Os PAINÉIS B, confeccionados com resíduos de marcenaria apresentaram densidades dentro do intervalo proposto pela ABNT NBR 14810-1:2013 e os resíduos utilizados são compostos de partículas de madeiras de média e alta densidade.

### **5.3.2 TEOR DE UMIDADE**

Os teores de umidade dos painéis, tanto para os PAINÉIS A como para os PAINÉIS B estão dentro do intervalo proposto pela norma, sendo possível inferir que a umidade das partículas, antes do processo para confecção dos painéis, foi corretamente controlada possibilitando compactação adequada aos painéis e homogeneização do adesivo às misturas.

Vale ressaltar que, as partículas utilizadas são provenientes de resíduos de empresas que preparam a madeira para produção de móveis, portas, batentes, caixilhos, dentre outros produtos, conseqüentemente, as madeiras são submetidas a rigoroso controle de umidade para serem utilizadas na faixa de 5%, entretanto, o material coletado ficou exposto às condições de umidade natural e após a realização de ensaios para avaliação da umidade das partículas, foi determinado valor de 11,32%, Marton (2014).

Para a produção de painéis com resina Uréia Formaldeído é adequado utilizar partículas com teores de umidade de 3% a 5%, entretanto, se verifica nos estudos empregando-se PU-Mamona a utilização de partículas com teores de umidade entre 10% a 12%, pois, esta faixa de umidade facilita a homogeneização do adesivo às partículas e propicia maior fluidez do adesivo no interior do painel durante a prensagem a quente.

### **5.3.3 INCHAMENTO**

Com relação ao Inchamento, observa-se que ocorreu maior variação na espessura dos PAINÉIS B (Tabela 8) com valores médios acima do proposto pela ABNT NBR14810-2:2013, sendo possível inferir que, para estes painéis haverá necessidade de ajustes nos parâmetros de confecção, como por exemplo, aumentar a pressão de prensagem e/ou aumentar o teor de adesivo.

### **5.4 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS**

As propriedades avaliadas para os PAINÉIS A e PAINÉIS B se constituíram do Módulo de Resistência na Flexão (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE) Resistência à Tração Perpendicular (TP), Arrancamento de Parafuso de Face (APF) e Arrancamento de Parafuso de Topo (APT), pois, considerando-se os parâmetros empregados para confecção dos painéis e as exigências normativas, estas propriedades representam significativamente a qualidade dos painéis P2 e do processo de confecção dos mesmos.

A Tabela 9 apresenta os resultados das propriedades mecânicas MOR, MOE, TP, APS e APT, obtidas por meio de ensaios para caracterização dos painéis confeccionados com resíduos de fabricas de móveis e marcenarias e empregando-se adesivo PU-Mamona.

Tabela 9 - Propriedades mecânicas dos PAINÉIS A e dos PAINÉIS B.

PROPRIEDADES	PAINÉIS A	PAINÉIS B	ABNT NBR14810:2/2013
MOR (MPa)	13,08	7,4	11
MOE (MPa)	1841,77	1108	1800
TP (MPa)	1,32	1,47	0,40
APS (N)	1033,33	663,6	Não aplicável
APT (N)	895,33	618,5	Não aplicável

Fonte: Acervo do autor

#### 5.4.1 MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (MOR)

De acordo com a ABNT NBR14810-2:2013, os valores mínimos para MOR, indicado na Tabela 9 é de 11MPa, com base neste requisito, verifica-se que os valores médios determinados para os PAINÉIS A com 10% de PU-Mamona foi de 13,08MPa, superando ao requisito proposto por esta norma. Entretanto, para os PAINÉIS B (7,4MPa), também confeccionados com 10% de PU-Mamona, não atendem aos requisitos da norma.

Em estudos desenvolvidos por Iwakiri et al. (2005), sobre a produção de painéis com partículas de madeira de *Grevillea robusta* e com emprego de resina UF nas proporções 6% e 8%, foram determinados valores de MOR que variaram de 10,3MPa a 17,7MPa, ou seja, de acordo com os valores encontrados neste estudo para os PAINÉIS A.

De acordo com a norma americana CS 236-66/1968 para painéis comerciais de partículas de madeira, o MOR deve apresentar valor mínimo de 11,2MPa.

Nos estudos realizados para determinação da composição granulométrica das partículas dos PAINÉIS A e PAINÉIS B, apresentados na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente; verifica-se que os resíduos das fábricas de móveis (PAINÉIS A) apresentaram maior percentual de partículas na faixa de 4mm a 6mm. De acordo com a literatura para produção de painéis de partículas de madeira, a utilização de partículas na faixa de 4mm a 6mm, são mais indicados para propiciar resistência à flexão dos painéis, conseqüentemente, esta característica dos resíduos das fábricas de móveis pode ter ajudado melhorar as propriedades dos PAINÉIS A.

#### **5.4.2 MODULO DE ELASTICIDADE (MOE)**

Conforme se observa na Tabela 9, os PAINÉIS A apresentaram valores médios de MOE dentro do requisito exigido pela ABNT NBR 14810:2/2013, contudo, os PAINÉIS B apresentaram valores abaixo do recomendado pela referida norma.

Em estudos realizados por Iwakiri et al (2000), foram determinados valores de MOE que variavam na faixa de 1217,89MPa a 2305,56MPa para painéis confeccionados com partículas de resíduo de madeira de eucalipto e resina Uréia Formaldeído, ou seja, os valores encontrados nas avaliações dos PAINÉIS B se aproximam dos valores determinados por Iwakiri.



#### **5.4.3 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP)**

De acordo com a ABNT NBR 14810-2:2013 o valor para a TP é de no mínimo 0,40MPa. Com as avaliações realizadas para determinação da TP nos PAINÉIS A e B confeccionados com 10% de PU-Mamona, foram determinados valores de 1,32MPa e 1,47MPa, respectivamente, estes valores são superiores aos propostos pela referida norma.

Nos estudos desenvolvidos por Silva et al. (2013), para a confecção e avaliação de painéis de partículas de madeira de Leucena com 10% de adesivo PU-Mamona, foram determinados valores médios de TP de 1,26MPa, ou seja, este valor também é superior ao valor proposto pelo documento normativo e está de acordo com os valores determinados para os PAINÉIS A e PAINÉIS B.

#### **5.4.4 ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE DO CORPO-DE-PROVA (APS) E ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NO TOPO DO CORPO-DE-PROVA (APT)**

De acordo com a ABNT NBR 14810-2/2013 os ensaios de Arrancamento de Parafuso para painéis do Tipo 2 não são apropriados para painéis com espessura nominal de 6mm a 13mm, entretanto, estes ensaios foram realizados com o objetivo de se fazer uma análise comparativa com outros estudos desenvolvidos empregando-se adesivo PU-Mamona.

Para os PAINÉIS A e PAINÉIS B foram obtidos valores de APS de 1033N e valores de e APT de 896N. Nos estudos desenvolvidos por Varanda (2012), foram determinados valores de APS que variaram de 450N a 1200N e valores de APT que variaram de 950N a 2350N; ao se comparar os valores de APS e APT dos estudos

desenvolvidos empregando-se adesivo PU-Mamona, observa-se que estes valores estão concordantes, o que possibilitam inferir que o adesivo PU-Mamona contribuiu para manter a resistência ao arrancamento de parafuso nos dois estudos desenvolvidos.

## **5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS NA PRIMEIRA ETAPA**

Com relação ao inchamento em espessura após 24 horas de imersão (Tabela 8) nos PAINÉIS B, verificou-se que ocorreu variação acima do recomendado por norma. Uma hipótese a se considerar para entender este fenômeno, pode estar relacionada à composição granulométrica das partículas, pois, de acordo com a Tabela 7, o percentual “retido e acumulado” de 90,38% na peneira de número 16 foi com partículas na faixa de 1mm, ou seja, os painéis foram confeccionados com um grande percentual de partículas pequenas que, propiciaram a formação de muitos espaços vazios, estes espaços foram ocupados por água durante o ensaio de inchamento, provocando forças de expansão entre as partículas de madeira e conseqüentemente aumento na espessura do painel.

Com relação as propriedades mecânicas, observa-se na Tabela 9 que os resultados obtidos para o MOR dos PAINÉIS B foram abaixo do recomendado pelo documento normativo. Uma hipótese a ser considerada para entender o ocorrido, pode estar relacionada ao percentual de apenas 0,1% de partículas na faixa de 4mm a 6mm, pois, de acordo com a literatura, partículas nesta faixa de comprimento propiciam melhores resistência à flexão dos painéis.

## 6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Considerando-se os resultados obtidos nas avaliações dos painéis da PRIMEIRA ETAPA, foram realizados ajustes na composição granulométrica adicionando-se partículas de bagaço de cana-de-açúcar na faixa de 4mm a 6mm de comprimento nas partículas dos PAINÉIS B. Em seguida foram propostos cinco tratamentos, conforme apresentado na Tabela 10, para confecção de novos painéis.

Tabela 10- Tratamentos empregados para propostas de confecção de novos painéis

TRATAMENTO	SERRAGEM (%)	BAGAÇO (%)	PU-MAMONA (%)
T1	90	10	
T2	80	20	
T3	70	30	10
T4	60	40	
T5	50	50	

Fonte: Acervo do autor

### 6.1. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T1

Tabela 11 apresenta o resumo do ensaio de granulometria para os ensaios que foram realizados na mistura entre as partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções de 90% e 10%, respectivamente, referente ao T1.

Tabela 11 - Resumo do ensaio de granulometria para o T1.

AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA							
PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO				OBSERVAÇÃO : 90% + 10%			
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
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	3,75	0,75	0,75		99,25
N.º 8	-	2,38	304,35	60,62	61,36		38,64
N.º 16	-	1,19	119,05	23,71	85,07		14,93
N.º 30	-	0,595	37,50	7,47	92,54		7,46
N.º 50	-	0,297	22,85	4,55	97,09		2,91
N.º 100	-	0,149	7,40	1,43	98,57		1,43
fundo	-	0,075	7,20	1,43		100,00	
Total			502,10	100	4,35		

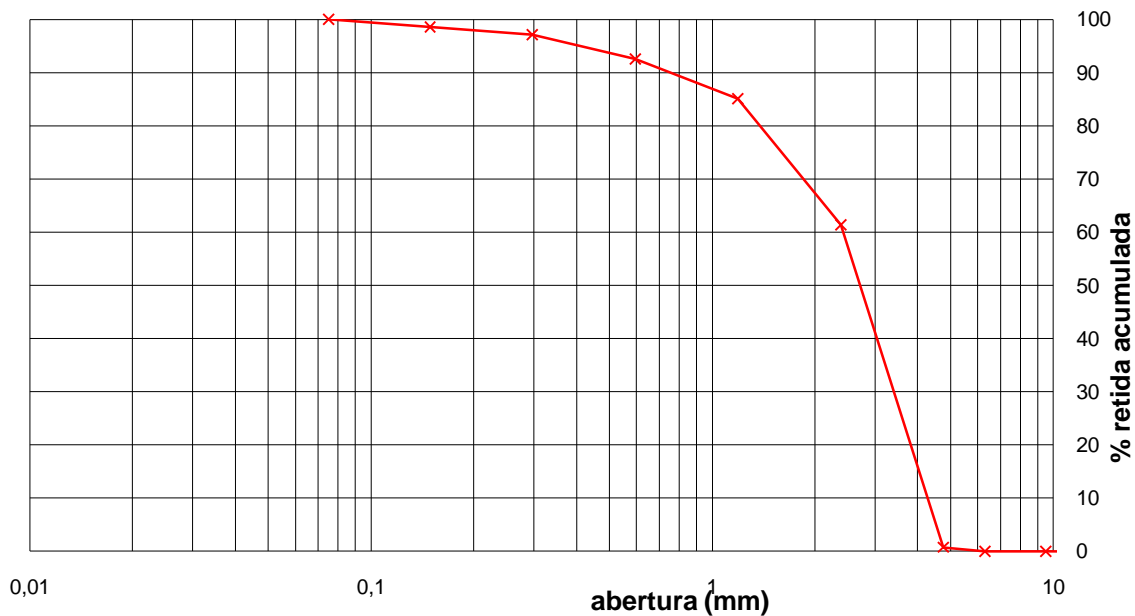
  

#	% Retida Acumulada											
mm	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B	100,00	98,57	97,09	92,54	85,07	61,36	0,75	0,00	0,00	0		

Fonte: Acervo do autor.

A Figura 19 ilustra a curva granulométrica da mistura do tratamento 1.

Figura 19. Curva granulométrica do T1.



Módulo de finura	4,4
------------------	-----

Fonte: Acervo do autor.

## 6.2. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T2

A Tabela 12 apresenta o resumo do ensaio de granulometria para os ensaios que foram realizados na mistura entre as partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções de 80% e 20%, respectivamente, referente ao T2.

Tabela 12- Resumo do ensaio de granulometria para o T2.

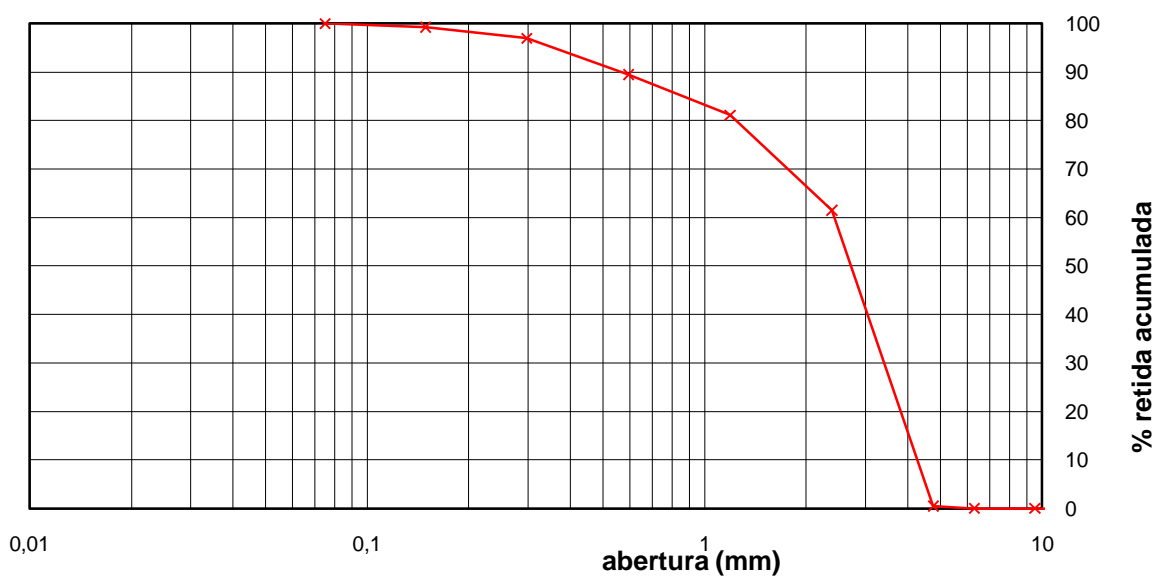
<b>AMOSTRA:</b>		<b>SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA</b>					
<b>PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO</b>				<b>OBSERVAÇÃO: 80% + 20%</b>			
<b>PENEIRAS</b>		<b>Abert. mm</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>		<b>% Passando</b>
<b>Normal</b>	<b>Auxil.</b>						
3/8"	-	9,51		0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	2,45	0,50	0,50		99,50
N.º 8	-	2,38	301,50	61,03	61,53		38,47
N.º 16	-	1,19	96,75	19,59	81,11		18,89
N.º 30	-	0,595	41,15	8,33	89,44		10,56
N.º 50	-	0,297	37,15	7,52	96,96		3,04
N.º 100	-	0,149	11,25	2,28	99,24		0,76
fundo	-	0,075	3,75	0,76		100,00	
<b>Total</b>			<b>494,00</b>	<b>100</b>	<b>4,29</b>		

#	<b>% Retida Acumulada</b>											
mm	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B	100,00	99,24	96,96	89,44	81,11	61,53	0,50	0,00	0,00	0		

Fonte: Acervo do autor

A Figura 20 ilustra o gráfico da curva granulométrica da mistura referente ao tratamento 2.

Figura 20. Curva granulométrica do T2.



Módulo de finura	4,3
------------------	-----

Fonte: Acervo do autor

### 6.3 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DO T3

A Tabela 13 apresenta o resumo do ensaio de granulometria para os ensaios que foram realizados na mistura entre as partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções de 70% e 30%, respectivamente, referente ao T3.

Tabela 13- Resumo do ensaio de granulometria para o T3.

<b>AMOSTRA : SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA</b>							
<b>PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO</b>				<b>OBSERVAÇÃO : 70% + 30%</b>			
<b>PENEIRAS</b>		<b>Abert. mm</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>		<b>% Passando</b>
<b>Normal</b>	<b>Auxil.</b>						
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	2,65	0,53	0,53		99,47
N.º 8	-	2,38	224,65	44,64	45,17		54,83
N.º 16	-	1,19	104,20	20,71	65,87		34,13
N.º 30	-	0,595	50,45	10,02	75,90		24,10
N.º 50	-	0,297	54,80	10,89	86,79		13,21
N.º 100	-	0,149	42,80	8,50	95,29		4,71
fundo	-	0,075	23,70	4,71		100,00	
<b>Total</b>			<b>503,25</b>	<b>100</b>	<b>3,70</b>		

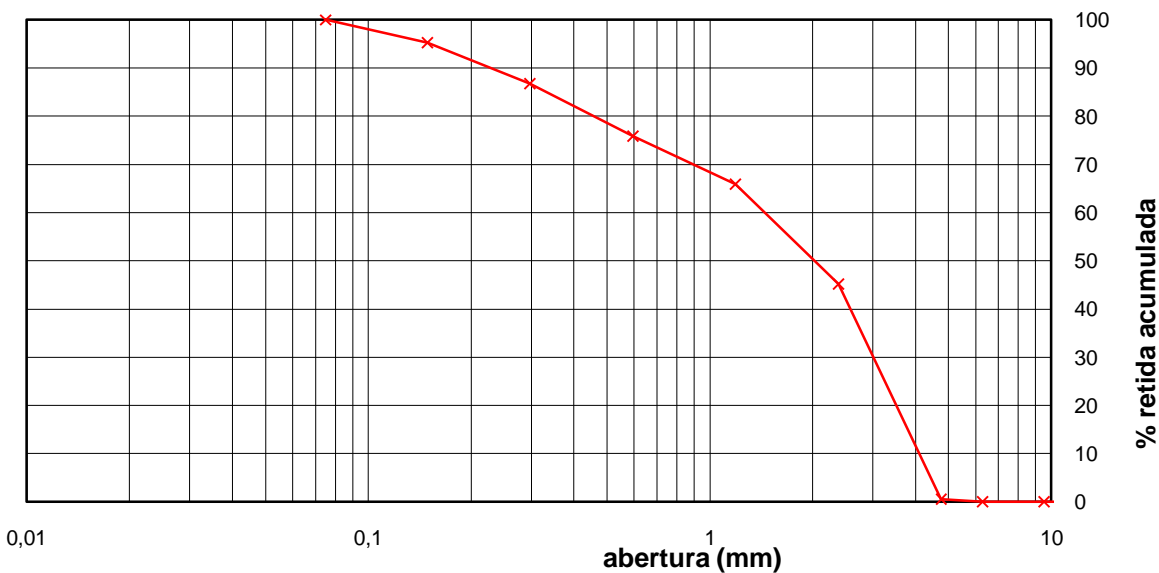
  

#	<b>% Retida Acumulada</b>											
	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
mm	100,00	95,29	86,79	75,90	65,87	45,17	0,53	0,00	0,00	0		
S/B												

Fonte: Acervo do autor

A Figura 21 ilustra o gráfico da curva granulométrica da mistura do tratamento 3.

Figura 21. Curva granulométrica do T3.



Módulo de finura | 3,7

Fonte: Acervo do autor

#### 6.4. ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DO T4

A Tabela 14 apresenta o resumo do ensaio de granulometria para os ensaios que foram realizados na mistura entre as partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções de 60% a 40%, respectivamente, referente ao T4.

Tabela 14- Resumo do ensaio de granulometria para o TRATAMENTO 4.

<b>AMOSTRA: SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA</b>												
<b>PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO</b>					<b>OBSERVAÇÃO : 60% + 40%</b>							
<b>PENEIRAS</b>		<b>Abert. mm</b>	<b>Peso Retido (g)</b>	<b>% Retida</b>	<b>% Retida Acumulada</b>		<b>% Passando</b>					
<b>Normal</b>	<b>Auxil.</b>											
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	3,40	0,67	0,67							99,33
N.º 8	-	2,38	196,10	38,82	39,49							60,51
N.º 16	-	1,19	94,65	18,74	58,22							41,78
N.º 30	-	0,595	66,70	13,20	71,43							28,57
N.º 50	-	0,297	70,80	14,01	85,44							14,56
N.º 100	-	0,149	46,05	9,12	94,56							5,44
fundo	-	0,075	27,50	5,44		100,00						
<b>Total</b>			<b>505,20</b>	<b>100</b>	<b>3,50</b>							

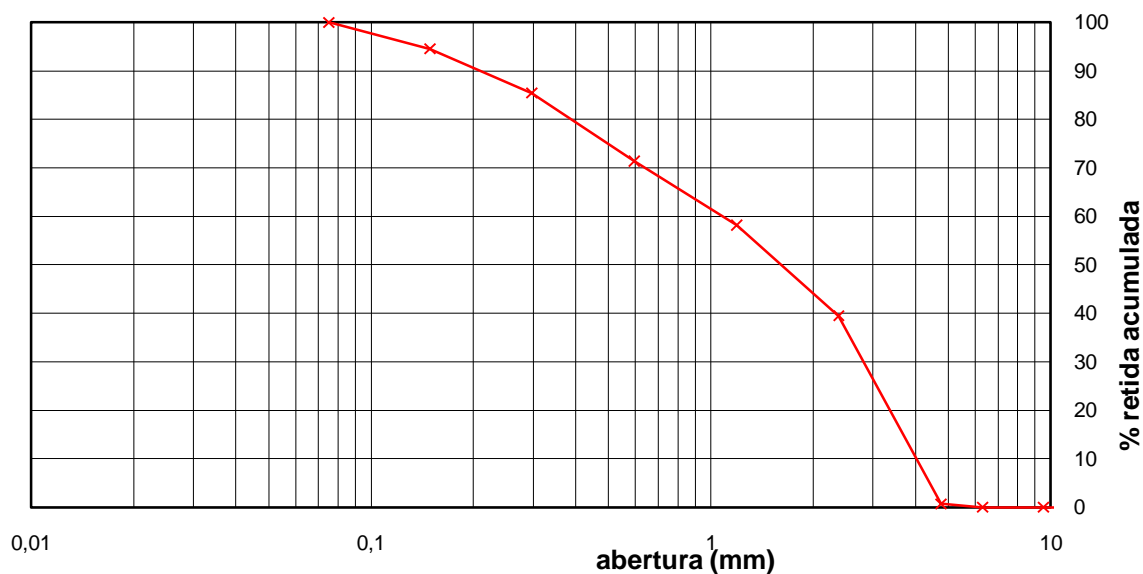
#	<b>% Retida Acumulada</b>											
mm	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B	100,00	94,56	85,44	71,43	58,22	39,49	0,67	0,00	0,00	0		

Fonte: Acervo do autor



A Figura 22 ilustra o gráfico da curva granulométrica da mistura do T4.

Figura 22. Curva granulométrica do T4.



Módulo de finura	3,5
------------------	-----

Fonte: Acervo do autor

## 6.5 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DAS PARTÍCULAS DO T5

A Tabela 15 apresenta o resumo do ensaio de granulometria para os ensaios que foram realizados na mistura entre as partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, nas proporções de 50% e 50%, respectivamente, referente ao T5.

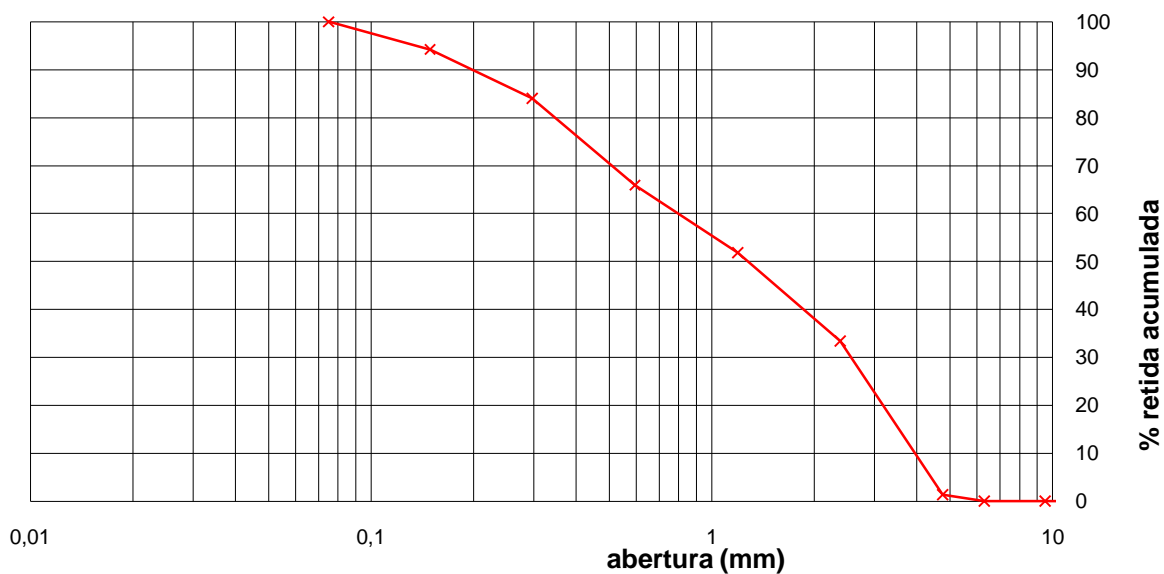
Tabela 15- Resumo do ensaio de granulometria para o T5.

<b>AMOSTRA: SERRAGEM E BAGAÇO DE CANA</b>												
<b>PROF. RESPONSÁVEL: SÉRGIO</b>						<b>OBSERVAÇÃO :50% + 50%</b>						
PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando					
Normal	Auxil.											
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	6,95	1,33	1,33						98,67	
N.º 8	-	2,38	167,15	32,05	33,38						66,62	
N.º 16	-	1,19	96,10	18,42	51,80						48,20	
N.º 30	-	0,595	73,60	14,11	65,91						34,09	
N.º 50	-	0,297	94,40	18,10	84,01						15,99	
N.º 100	-	0,149	53,30	10,22	94,23						5,77	
fundo	-	0,075	30,10	5,77						100,00		
Total			521,60	100	3,31							
#	% Retida Acumulada											
mm	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,5	12,7	19,0	25,4
S/B	100,00	94,23	84,01	65,91	51,80	33,38	1,33	0,00	0,00	0		

Fonte: Acervo do autor

A Figura 23 ilustra o gráfico da curva granulométrica da mistura do tratamento 5.

Figura 23. Curva granulométrica do T5.



Módulo de finura	3,3
------------------	-----

Fonte: Acervo do autor.

De acordo com as tabelas e gráficos de ensaios referentes à composição granulométrica entre as misturas de partículas de madeira e partículas de bagaço de cana-de-açúcar, verifica-se uma variação percentual de partículas na faixa de 4mm a 6mm e uma gradual diminuição do módulo de finura a medida que aumenta-se o percentual de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, entretanto, vale ressaltar que os teores determinados de partículas na faixa de 4mm a 6mm ainda são muito pequenos, em comparação com os demais faixas de comprimento de partículas.

Considerando-se os tratamentos propostos, foram confeccionados e avaliados novos painéis utilizando-se as misturas de partículas de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

## 6.6. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS

Inicialmente é importante ressaltar que foram realizados ensaios para determinação do teor de umidades das partículas de madeira e de bagaço de cana-de-açúcar e determinaram-se valores de 11,32% (MARTON, 2014) e 8,5%, respectivamente.

Em seguida as partículas foram misturadas e propostos 5 tratamentos e determinados os teores de umidade das partículas de cada tratamento. A Tabela 16 apresenta o teor de umidade das misturas de cada tratamento, após homogeneização.

Tabela 16. Teor de umidade das misturas de partículas para cada tratamento.

TRATAMENTOS	UMIDADE (%)
T1	8,66
T2	7,85
T3	6,89
T4	6,38
T5	6,56

Fonte: Acervo do autor

Verifica-se na Tabela 16 que os novos teores de umidade das misturas não representam a soma dos teores de umidade das partículas de madeira com as partículas de cana-de-açúcar, entretanto, verifica-se que o processo de homogeneização das misturas provocou um equilíbrio entre as partículas de madeira e as partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

Observa-se ainda que à medida que aumenta a massa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar na mistura, há uma diminuição do teor de umidade das partículas das misturas de cada tratamento.

A Tabela 17 apresenta os valores das propriedades físicas dos painéis confeccionados com as partículas dos tratamentos propostos, em comparação com os valores da ABNT NBR14810-2:2013 e, observam-se seis tratamentos, considerando-se o T0, com partículas de madeiras para confecção dos PAINÉIS B e sem adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 17. Resultados das propriedades físicas dos painéis e os valores propostos pela ABNT NBR14810-2/2013.

TRATAMENTOS	DENSIDADE	UMIDADE	INCHAMENTO APÓS 24 HORAS
ABNT NBR 14810-2/2013	0,55 A 0,75 (g/cm <sup>3</sup> )	5 a 13 (%)	18 (%)
T0	0,73	7,65	24,27
T1	0,89	6,88	17,06
T2	0,83	6,48	18,46
T3	0,77	6,09	15,53
T4	0,79	5,80	17,93
T5	0,73	5,70	15,10

Fonte: Acervo do autor

### 6.6.1 DENSIDADE APARENTE

Conforme se verifica as densidades dos tratamentos na Tabela 17, os corpos-de-prova do T0, que não possuem adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e os painéis do T5, com 50% de adição de bagaço de cana-de-açúcar, se

apresentam com densidades dentro do intervalo definido pela ABNT NBR14810-1:2013, enquanto que, os painéis dos demais tratamentos apresentaram densidade acima do intervalo.

A variação da densidade observada pode ser explicada devido à adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar que facilitou a compactação dos painéis durante a confecção, propiciando maior aproximação entre as partículas, entretanto, a ABNT NBR14810-2:2013 considera uma tolerância para a densidade média de  $\pm 7\%$ , ou seja, os maiores valores de densidade obtidos para os tratamentos estão muito próximos dos requisitos normativos.

#### **6.6.2 TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS**

Na Tabela 16 observam-se os teores de umidade das misturas das partículas de cada tratamento antes da confecção dos painéis e na Tabela 17 observa-se que os teores de umidade dos painéis de todos os tratamentos estão dentro do intervalo definido pela ABNT NBR14810-2:2013.

A Tabela 18 apresenta os teores de umidades das partículas de cada tratamento, o teor de umidade dos painéis e o teor de umidade desprendido dos painéis de cada tratamento. Vale lembrar que, os parâmetros para confecção dos painéis foram: pressão de prensagem de  $50\text{Kgf/cm}^2$  e temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  durante 10min de prensagem.

Tabela 18. Avaliação das perdas de umidade dos painéis.

TRATAMENTOS	UMIDADE DAS MISTURAS DAS PARTÍCULAS (%)	UMIDADE DOS PAINÉIS (%)	PERCENTUAL DE PERDA DOS PAINÉIS (%)
T1	8,66	6,88	0,794
T2	7,85	6,48	0,825
T3	6,89	6,09	0,883
T4	6,38	5,80	0,909
T5	6,56	5,70	0,869

Fonte: Acervo do autor

Comparando-se o teor de umidade dos painéis de cada tratamento com os teores de cada mistura, é possível inferir que a umidade inicial das partículas foi adequadamente controlada, pois, observa-se na Tabela 18, que o percentual de perda de umidade dos painéis durante o processo de confecção foi na ordem de 0,80%, considerando-se a umidade das partículas de cada tratamento, propiciando aos painéis teor de umidade na ordem de 6%, que de acordo com o documento normativo, está dentro dos limites exigidos para o uso como painéis do TIPO P2.

### 6.6.3 INCHAMENTO EM ESPESSURA APÓS 24 HORAS

De acordo com a Tabela 17, ao se analisar o inchamento em espessura dos corpos-de-prova do T0, ou seja, sem adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, verifica-se que o inchamento determinado foi de 24,27%, ou seja, acima do valor de referência da ABNT NBR14810-2:2013, que é de 18%, entretanto, ao se

analisar os demais tratamentos, somente os teores de umidade para os corpos-de-prova do T2 ficaram ligeiramente acima do recomendado pela referida norma.

Os bons resultados obtidos para o inchamento dos painéis podem estar relacionados à adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar às partículas de madeira, que durante a confecção dos painéis propiciaram facilidade na compactação, conseqüentemente, maior aproximação entre as partículas, diminuição de espaços vazios no interior dos painéis e maior resistência ao inchamento em espessura dos corpos-de-prova.

Vale ressaltar que o adesivo PU-Mamona também contribuiu significativamente para melhorar a resistência ao inchamento dos painéis, pois, os adesivos poliuretanos são conhecidos por conferirem boas propriedades de resistência em situações de umidade.

## 6.7. ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

Na Tabela 19 observam-se os valores das propriedades mecânicas determinados para os corpos-de-prova dos painéis de cada tratamento.

Tabela 19. Valores médios das propriedades mecânicas dos painéis e os valores propostos pela ABNT NBR1814-2/2013.

ABNT NBR14810-2:2013	11MPa	1800MPa	0,40MPa
TRATAMENTOS	MOR	MOE	TP
T0	7,40	1108,00	1,12
T1	8,57	1821,45	1,21
T2	9,13	1959,41	1,10
T3	11,44	1841,70	1,23
T4	9,29	1935,88	1,20
T5	11,09	2033,80	0,91

Fonte: Acerco autor



### **6.7.1 MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA (MOR) E MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)**

De acordo com a ABNT NBR14810-2:2013 o valor médio apresentado na Tabela 19 para o MOR dos corpos-de-prova dos painéis dos tratamentos T0, T1, T2 e T4 estão abaixo dos valores recomendados pela referida norma, entretanto, os valores encontrados para os corpos-de-prova dos painéis dos tratamentos T3 e T5 estão de acordo com a norma.

Os corpos-de-prova do T5 apresentaram teores de partículas na faixa de 4mm a 6mm, na ordem de 1,33% (Tabela 15), entretanto, vale ressaltar que apesar da adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar ter melhorado às propriedades físicas e mecânicas dos painéis, esta faixa ainda se apresenta em proporções muito reduzidas dentro das misturas.

Com relação ao MOE verifica-se na Tabela 19 que todos os corpos-de-prova dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, atingiram a resistência adequada segundo o documento normativo e com relação aos corpos-de-prova dos painéis do T5, o resultado obtido para o MOE pode ser devido a maior quantidade de partículas na faixa de 4mm a 6mm que conferiram aos painéis maior MOR e conseqüentemente maior MOE.

### **6.7.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PERPENDICULAR (TP)**

Na Tabela 19 verifica-se que os valores de TP dos corpos-de-prova de todos os tratamentos são superiores a 0,40MPa, ou seja, acima dos valores exigidos pela ABNT NBR14810-2:2013, conseqüentemente, é possível inferir que tanto o

adesivo PU-Mamona como a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar foram adequados para propiciar boas resistências à tração perpendicular.

Ressalta-se ainda que as partículas de bagaço de cana-de-açúcar, devido sua baixa densidade, facilitaram a compactação dos painéis durante a confecção e possibilitou mais eficiência ao adesivo PU-Mamona.

## **7. CONCLUSÃO**

A utilização de partículas de bagaço de cana-de-açúcar adicionadas a misturas de partículas de madeira provenientes de resíduo de marcenarias com o objetivo de ajustar a composição granulométrica da mistura, propiciou aos tratamentos propostos melhor distribuição granulométrica na faixa de 4mm a 6mm.

Para a confecção dos painéis, devido a baixa densidade das partículas de bagaço de cana-de-açúcar, verificou-se que houve uma significativa melhora no processo de prensagem à quente, propiciando maior fluidez do adesivo no interior dos painéis e facilitando sua compactação e conseqüentemente, melhor adesão e diminuição dos espaços vazios entre as partículas.

Com relação aos resultados obtidos com os ensaios verificou-se que a adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, na faixa de 4mm a 6mm, nos tratamentos propostos, propiciou propriedades físicas e mecânicas com valores que de acordo com a ABNT NBR 14810 - 1 e 2:2013 são indicadas para produção de “Painéis de Partículas de Madeira de Média Densidade” do “Tipo P2”, ou seja, “Painéis não Estruturais para Uso Interno em Condições Secas”.

## **8. RECOMENDAÇÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS**

Considerando-se os valores obtidos nas avaliações das propriedades físicas e mecânicas dos corpos-de-prova dos tratamentos T3, T4 e T5, com 30%, 40% e 50% de partículas de bagaço de cana-de-açúcar que, entretanto, verificou-se um baixo percentual destas partículas na faixa de 4mm a 6mm de comprimento, sugere-se para uma nova pesquisa, a realização de ajustes na granulometria destas partículas e conseqüente preparação de um novo tratamento que garanta a maior

quantidade de partículas na referida faixa granulométrica. Esta nova proposta poderá produzir painéis que se classifiquem segundo a ABNT NBR 14810-2:2013 como “Painéis não Estruturais para Uso em Condições Úmidas - Tipo 3”, bem como, “Painéis Estruturais para Uso em Condições Secas - T4”.

## 9. REFERÊNCIAS

- ABREU, Luciana Barbosa de et al. Avaliação de resíduos de painéis de madeira gerados por indústrias moveleiras para aproveitamento na confecção de pequenos objetos: estudo de caso. **Ciênc. Agrotec.**, [s.l.], v. 33, n. , p.1747-1751, 2009. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1413-70542009000700008.
- ALBERTINI, Silvana; CARMO, Leandro Francisco do; PRADO FILHO, Luiz Gonzaga do. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.113-118, 2007. Fap UNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0101-20612007000100020.
- ALVES, Luciane S.; SILVA, Sérgio A. Mello. 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. In: Encontro Brasileiro de Madeiras e de Estruturas de Madeira, 14., 2014, Natal. **Anais....** Natal: EMBRAMEM, 2014. p. 1 - 10.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE -. **Estudo Setorial 2007**. Curitiba: Step, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira**. São Paulo: Tesis, 2013, [www.abipa.org.br](http://www.abipa.org.br).
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL - BRACELPA. **Florestas Plantadas**. 2013. Disponível em: [www.bracelpa.org.br](http://www.bracelpa.org.br). Acesso em: 20 dez. 2014.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 1004:**  
RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSIFICAÇÃO. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810- 1:2013.**  
PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA - PARTE2: REQUISITOS E  
MÉTODOS DE ENSAIOS. Rio de Janeiro, 2013, 69p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810- 2:2013.**  
PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA - PARTE1: TERMINOLOGIA. Rio  
de Janeiro, 2013, 5p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM248**  
AGREGADOS DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA.  
Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS -  
ABRAF. **Mercado de Produtores Florestais.** São Paulo, SP: 2006.  
Disponível em [www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-  
BR/capitulo03.pdf](http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR/capitulo03.pdf)>. Acesso em 28 out.2013.
- AZAMBUJA, M. dos A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de  
madeira laminada colada:** avaliação da resistência de emendas dentadas,  
da durabilidade e de vigas. 128p. 2006. Tese (Doutorado em Ciência e  
Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO - BNDES. **Painéis de madeira  
reconstituída.** 2002. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/>>. Acesso em:  
15 maio 2015.
- BAUER, Falcão. **Materiais de construção 2.** Uberlândia: Ltc, 1999. 951 p.

BERNARDI, Renato. **Reconstituição de chapas de aglomerado**. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 29 jul. 2014.

BERTOLINI, Marília da Silva. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CASTRO, Vinicius; IWAKIRI, Setsuo. Influência de diferentes níveis de acetilação nas propriedades físico-mecânicas de aglomerados e painéis madeiramento. **Cerne**, [s.l.], v. 20, n. 4, p.535-540, 2014. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/01047760201420041673.

CAVALHEIRO, Raquel Schmitt. **Madeira Laminada Colada de Schizolobium amazonicum Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2014.

CERQUEIRA, Pedro Henrique Alcântara de et al. Análise dos resíduos madeireiros gerados pelas serrarias do município de Eunápolis-BA. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 19, n. 4, p.506-510, 2012. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.4322/floram.2012.051.

COLLI, Andrea et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.333-338, 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-67622010000200016.

CONAMA. **Resolução nº 307, de 5 de Julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Publicada no DOU nº 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>>. Acesso em 30 out. 2013.

CORDEIRO, G C; T FILHO, R D; ALMEIDA, R S de. Influence of ultrafine wet grinding on pozzolanic activity of submicrometre sugar cane bagasse ash. **Advances In Applied Ceramics**, [s.l.], v. 110, n. 8, p.453-456, nov. 2011. Maney Publishing. DOI: 10.1179/1743676111y.0000000050.

COMMERCIAL STANDRD - CS 236-66. **Material formed wood particleboard.** [S.1.] 1968.

DIAS, Antônio Alves. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. **Produtos Derivados de Madeira.** São Carlos, SP, p. 73-92, 2008.

DIAS, Fabrício Moura. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada.** 2005. 150 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciencia e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

FONTES, P.J.P. **Auto-Suficiência Energética em Serraria de Pinus e Aproveitamento dos Resíduos** [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 1994.

FREIRE, Wesley Jorge; BERALDO, Antonio Ludovico. **Tecnologias e materiais alternativos de construção.** Campinas: Unicamp, 2003. 331 p.



INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 2009. **Avaliação, controle de qualidade e elaboração de especificações de madeiras e produtos derivados.** São Paulo, SP: Disponível em [http://www.ipt.br/solucoes/60avaliacao\\_controle\\_de\\_qualidade\\_e\\_elaboracao\\_de\\_especificacoes\\_de\\_madeiras\\_e\\_produtos\\_derivados.htm](http://www.ipt.br/solucoes/60avaliacao_controle_de_qualidade_e_elaboracao_de_especificacoes_de_madeiras_e_produtos_derivados.htm)>. Acesso em 28 out. 2014.

IWAKIRI, Setsuo et al. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, [s.l.], v. 42, n. 1, p.59-64, 2012. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0044-59672012000100007.

IWAKIRI, Setsuo. **Painéis de madeira reconstituída.** Ed. FUPEF – Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba, PR, p.123-166, 2005.

IWAKIRI,S.; CUNHA, A. B.; ALBUQUERQUE, C. E. L.; GORNIK, E.; MENDES, L. M. et al. **Resíduo de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto.** **Scientia Agraria**, v.1, n. 1-2, p. 23-28, 2000.

LAHR, Rocco. **Derivados de Madeira:** produtos derivados de madeira. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 2004. 161 p.

MANZANO, Ricardo Pereira et al. Digestibilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com reagentes químicos e pressão de vapor. **Rev. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 29, n. 4, p.1196-1204, 2000. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982000000400034.

MARTON, Ademir. **Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial.** 2014. 67 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2014.

MELO, Rafael Rodolfo de et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 45, n. 1, p.35-42, jan. 2015. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/0103-8478cr20120970.

NARCISO, Carolina Rezende Pinto et al. PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM RESÍDUO DE SERRARIA. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 14., 2014, Natal. **Anais....** Natal: Moura Ramos, 2014. v. 3, p. 56 - 67.

NASCIMENTO; MORALES. Fabricação de painéis OSB com matéria-prima proveniente de espécies de madeira da caatinga do nordeste brasileiro. **Produtos Derivados de Madeira**. São Carlos, SP, p. 117-136, 2008.

NEGRÃO, Wilson Henrique et al. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.103-112, 2014. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1678-86212014000300008.

PATTON, John. **Materiais de Construção**: materiais de construção para engenharia civil. Ed. Pedagógica e Universitária Ltda. São Paulo, SP, 1978.365 p.

PETRUCCI, G.R. **Materiais de Construção**. Ed.São Paulo.10 ed. São Paulo, SP, 1975.435 p.

PIERRE, Fernanda Cristina. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos i**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Unesp, Botucatu, 2010.

REVISTA DA MADEIRA. Curitiba: Lettech, 2010.

- SANCHEZ, Elisabete M. S. et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.194-200, 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0104-14282010005000034.
- SANTOS, Moacyr L. dos et al. Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Quím. Nova**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.507-511, 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-40422011000300024.
- SARTORI, Diogo de Lucca. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.
- SILVA, S.A.M; MARTON, A. XIV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Painéis aglomerados produzidos com resíduo de serraria. Anais**. Natal, 2014. 3 v.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. São Paulo, SP. Série histórica da produção, consumo, exportação e importação de aglomerados (m<sup>3</sup>). Disponível em <[http://www.sbs.org.br/estatisticas\\_htm](http://www.sbs.org.br/estatisticas_htm)>. Acessado em 01 abr 2014.
- STANGERLIN, Diego Martins et al. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 41, n. 8, p.1369-1374, 2011. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0103-84782011000800012.
- TITA, Sandra P. S.; PAIVA, Jane M. F. de; FROLLINI, Elisabete. Resistência ao Impacto e Outras Propriedades de Compósitos Lignocelulósicos: Matrizes Termofixas Fenólicas Reforçadas com Fibras de Bagaço de Cana-de-açúcar.

**Polímeros**, [s.l.], v. 12, n. 4, p.228-239, 2002. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0104-14282002000400005.

VISNARDI, O.C. VALARELLI, I. de D., CARVALHO, M. R. de O., TIBÚRCIO, U.F. de O. Produção e Avaliação Física de Chapas de Partículas de Bambu da Espécie *Dendrocalamus giganteus*. In. XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EMBRAMEM, 2010.

ZAU, Mírian Dayse Lima et al. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia - Cumarú (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 6, p.101-108, dez. 2014.