

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

**FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ESTEFANI SUANA SUGAHARA

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE EUCALIPTO E
BAGAÇO DE CANA, COM ADESIVOS UREIA FORMALDEÍDO E POLIURETANO
À BASE DE MAMONA**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTEFANI SUANA SUGAHARA

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE EUCALIPTO E
BAGAÇO DE CANA, COM ADESIVOS UREIA FORMALDEÍDO E POLIURETANO
À BASE DE MAMONA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - Campus de Ilha Solteira, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

Orientador Prof. Dr. Sergio Augusto Mello da Silva

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

S947p Sugahara, Estefani Suana.
Painéis aglomerados produzidos com partículas de eucalipto e bagaço de cana, com adesivos ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona / Estefani Suana Sugahara. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
108 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2018

Orientador: Sergio Augusto Mello da Silva
Inclui bibliografia

1. Painéis de partículas. 2. Estruturas. 3. Resíduos. 4. Cana-de-açúcar. 5. Eucalyptus. 6. Adesivo poliuretano.

Raiane da Silva Santos
Raiane da Silva Santos

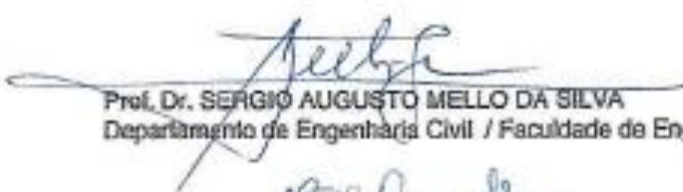
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS CONFECCIONADOS COM PARTÍCULAS DE EUCALIPTO E BAGAÇO DE CANA, EMPREGANDO-SE UREIA FORMALDEÍDO E POLIURETANO DE MAMONA


AUTORA: ESTÉFANI SUANA SUGAHARA

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:


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


Profa. Dra. ELEN APARECIDA MARTINES MORALES
Curso de Engenharia Industrial Madeireira / Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva


Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CRISTOFORO
Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos

Ilha Solteira, 30 de julho de 2018

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Mario e Marta e às minhas irmãs Isabela e Carolina por todo o incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, minha fortaleza.

Agradeço a toda minha família e amigos, pelo apoio incondicional, compreensão pelas faltas e amor despendido.

Agradeço ao orientador deste trabalho, Prof. Dr. Sergio Augusto de Mello da Silva, que sempre me auxiliou academicamente.

Agradeço ao João Claudio pelo cuidado, apoio e companheirismo em todos os momentos.

Agradeço a Ana Laura e Raissa pela amizade e pela parceria, sem a qual a realização deste trabalho não seria possível.

Agradeço à UNESP Campus Ilha Solteira e seus docentes e funcionários, pelo apoio à minha formação e execução deste trabalho.

Agradeço à UNESP Campus Itapeva e seus funcionários, principalmente a professora Elen Aparecida Martines Morales e o Técnico Juliano Rodrigo de Brito pelo suporte.

Agradeço à UNESP Campus Bauru e seus funcionários, principalmente ao professor Maximiliano dos Anjos Azambuja e o Técnico Israel pelo suporte.

Agradeço às empresas Hexion, Isogama, Vale do Paraná e Eldorado do Brasil pela doação dos materiais utilizados na realização desta pesquisa.

Agradeço ao Edson Florentino de Souza pela motivação.

Agradeço aos meus colegas de trabalho na Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Fernandópolis, em especial ao Angelo Roberto Veiga, por toda amizade, motivação, auxílio e compreensão.

Agradeço ao Prefeito André Giovanni Pessuto Candido pelo apoio.

Agradeço aos meus irmãos do Saturday pela amizade e compreensão.

Agradeço a todos que auxiliaram direta ou indiretamente a confecção deste trabalho.

“Não fui eu que lhe ordenei? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois, o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

Josué 1:9

RESUMO

Os painéis aglomerados vêm se consolidando no Brasil como um dos principais produtos derivados da madeira, sendo a madeira de eucalipto proveniente de reflorestamentos uma das principais matérias-primas utilizadas para sua produção. Entretanto, verifica-se a crescente demanda de produtos agroindustriais e geração de um volume considerável de resíduos lignocelulósicos, como o bagaço de cana-de-açúcar. Desta forma, este trabalho tem por objetivo produzir painéis aglomerados empregando-se partículas provenientes de resíduos de eucalipto da indústria de produção de celulose e de bagaço de cana-de-açúcar proveniente de usinas sucroalcooleiras. Foram produzidos painéis aglomerados e avaliadas suas propriedades comparando-se a eficiência do adesivo poliuretano à base de óleo de mamona e a resina ureia formaldeído, com base nos documentos normativos ABNT NBR 14810 - 1 e 2: 2013. Para confecção dos painéis foram propostas misturas de partículas com variações entre suas proporções, com adição de 10% adesivo em relação à massa seca das partículas. Os ensaios foram realizados para avaliação da Densidade, Umidade, Inchamento após 24h, Módulo de Resistência à Flexão Estática, Módulo de Elasticidade e Resistência à Tração Perpendicular. Os resultados obtidos evidenciaram o potencial de uso de resíduos de eucalipto associado a partículas de bagaço de cana na produção de painéis de partículas aglomeradas de alta densidade. Os painéis produzidos com adesivo poliuretano apresentaram maior eficiência, com valores médios de Densidade de 882 Kg/m³, Módulo de Resistência à Flexão Estática de 31 MPa e Adesão Interna de 2,52 MPa. Os valores obtidos possibilitam classificar estes painéis, de acordo com o documento normativo brasileiro, como sendo do Tipo P4, ou seja, Painéis Estruturais para uso em condições secas, atingindo também valores próximos ou superiores aos definidos para painéis OSB na norma europeia.

Palavras-chave: Painéis de partículas. Estruturas. Resíduos. Cana-de-açúcar. Eucalyptus. Adesivo poliuretano. Resina uréica.

ABSTRACT

Particleboards have been consolidated in Brazil as one of the main products coming from wood, having the eucalyptus from reforestation as the main raw material in their production. However, it is noticed an increasing demand for agro industrial products and the generation of considerable volume of lignocellulosic waste, such as sugarcane bagasse. This way, this work aims to produce Particleboards using particles of eucalyptus waste from the pulp production industry and sugarcane bagasse from the sugar and ethanol plants. Particleboards were produced and their properties were evaluated comparing the efficiency of polyurethane adhesive based on castor oil and urea formaldehyde resin, according to the normative documents ABNT NBR 14810 - 1 and 2: 2013. Mixtures of particles with variation in their proportions were proposed, with additions of 10% adhesive in relation to the dry mass of particles to produce the boards. The tests were made to evaluate the apparent Density, Moisture content, Swelling after 24 hours, Modulus of rupture in static bending, Modulus of elasticity and Internal bond. The results showed the potential use of eucalyptus waste and sugarcane bagasse in the production of high density Particleboards. The boards produced with polyurethane presented higher efficiency, with average apparent Density value of 882 Kg/m³, Modulus of Rupture in static bending of 31 MPa and Internal Bond of 2,52 MPa. The obtained values make it possible to classify these boards according to the normative Brazilian documents, as the P4 type, which means, Structural boards for dry conditions use, reaching values close to or higher than those defined for OSB panels in the European standard.

Keywords: Particle boards. Structures. Waste. Sugarcane. Eucalyptus. Polyurethane adhesive. Urea resin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução do valor de produção de produtos florestais	20
Figura 2 - Desmatamento anual na Amazônia Legal (km ²)	21
Figura 3 - Unidade Industrial de Aglomerados da Eucatex em Botucatu	23
Figura 4 - Gráfico do crescimento médio anual da produção de celulose e painéis	24
Figura 5 - Quantidade da produção anual, por segmento madeireiro	24
Figura 6 - Tipos de distribuição de camadas para os painéis de partículas	25
Figura 7 - Painéis MDP	28
Figura 8 - Fluxograma da fabricação de aglomerados	30
Figura 9 - Bagaço de cana-de-açúcar	46
Figura 10 - Partículas de Eucalipto	47
Figura 11 - Adesivo PU-Mamona	48
Figura 12 - Componentes para preparação da Resina UF	49
Figura 13 - Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos	51
Figura 14 - Agitador de peneiras	53
Figura 15 - Secagem do bagaço de cana	54
Figura 16 - Impurezas retiradas do bagaço de cana	54
Figura 17 - Amostras para determinação do Teor de umidade das partículas	55
Figura 18 - Agitador de peneiras. Determinação da composição granulométrica	56
Figura 19 - Adição e homogeneização da CASCAMITE às partículas	58
Figura 20 - Prensagem do painel	59
Figura 21 - Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão	60
Figura 22 - Painéis UF após prensagem à quente	60
Figura 23 - Aferição das dimensões do corpo de prova	61
Figura 24 - Pontos de medição no corpo de prova	62
Figura 25 - Balança analítica	63
Figura 26 - Ensaio de inchamento após 24h	64
Figura 27 - Ensaio da Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade	65
Figura 28 - Preparação dos corpos de prova	67
Figura 29 - Máquina universal realizando o ensaio de TP	67
Figura 30 - Característica do bagaço de cana-de-açúcar da primeira etapa	71
Figura 31 - Corpos de prova utilizados no ensaio de Inchamento após 24h	74
Figura 32 - Ensaio de Resistência à Tração Perpendicular	76
Figura 33 - Corpos-de-prova dos painéis produzidos com UF	76
Figura 34 - Densidade (kg/m ³). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	84
Figura 35 - Umidade (%). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	86
Figura 36 - Inchamento (%). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	88
Figura 37 - MOR (MPa). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	90
Figura 38 - MOE (MPa). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	93
Figura 39 - TP (MPa). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção e consumo de Painéis	23
Tabela 2 – Tipos de painéis e requisitos normativos	27
Tabela 3 - Especificações do Produto CASCAMITE MDF 1711	49
Tabela 4 - Tratamentos propostos para a confecção dos painéis exploratórios	52
Tabela 5 - Tratamentos propostos para a confecção dos novos painéis	53
Tabela 6 - Composição granulométrica das partículas de Eucalipto	69
Tabela 7 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana	70
Tabela 8 - Densidade dos painéis - Resultados I Etapa	72
Tabela 9 - Teor de umidade - Resultados I Etapa	73
Tabela 10 - Inchamento após 24h - Resultados I Etapa	73
Tabela 11 - Resistência à Flexão Estática - Resultados I Etapa	74
Tabela 12 - Módulo de Elasticidade - Resultados I Etapa	75
Tabela 13 - Resistência à Tração Perpendicular - Resultados I Etapa	77
Tabela 14 - Análise Comparativa/Qualitativa	77
Tabela 15 - Distribuição granulométrica das partículas de Eucalipto	80
Tabela 16 - Distribuição granulométrica das partículas de Bagaço	81
Tabela 17 - Comprimento médio das partículas (Eucalipto)	82
Tabela 18 - Comprimento médio das partículas (Bagaço)	82
Tabela 19 - Densidade. Traço T _{2.2} (UF). Resultados II Etapa	83
Tabela 20 - Densidade. Traço T _{4.2} (PU-Mamona). Resultados II Etapa	83
Tabela 21 - Umidade. Resultados II Etapa	85
Tabela 22 - Inchamento. Resultados II Etapa	87
Tabela 23 - MOR. Resultados II Etapa	89
Tabela 24 - MOE. Resultados II Etapa	92
Tabela 25 - TP. Resultados II Etapa	94
Tabela 26 - Resumo dos resultados obtidos com os ensaios. II Etapa	96
Tabela 27 – Comparação dos resultados obtidos com os ensaios. II Etapa	96
Tabela 28 - Tipos de painéis OSB e requisitos normativos	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
COV	Compostos orgânicos voláteis
CP	Corpos de prova
D	Densidade
I	Inchamento
IC	Intervalo de confiança (5% de significância)
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MDP	<i>Medium Density Particleboard</i>
MOR	Módulo de resistência à flexão estática
MOE	Módulo de elasticidade
MPa	Megapascal
OSB	<i>Oriented Strand Board</i>
PU-Mamona	Adesivo poliuretano bicomponente derivado de óleo de mamona
TP	Resistência à tração perpendicular
U	Umidade
UF	Resina Ureia-formaldeído

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	15
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	PANORAMA DO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO	19
3.2	PAINEIS DE MADEIRA AGLOMERADA	21
3.2.1	Definição	21
3.2.2	Histórico	22
3.2.3	Caracterização econômica	23
3.2.4	Características Gerais	25
3.2.5	Classificação	27
3.2.6	Fabricação	28
3.2.6.1	<i>Processo de fabricação industrial</i>	29
3.2.7	Fatores que influenciam as propriedades dos painéis	30
3.3	EUCALIPTO	32
3.4	BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	34
3.5	ADESIVOS	36
3.5.1	Adesivo ureia formaldeído	36
3.5.2	Adesivo poliuretano	37
3.5.2.1	<i>Adesivo poliuretano bicomponente</i>	38
3.5.2.1.1	<i>Adesivo poliuretano bicomponente de mamona (PU-Mamona)</i>	39
3.6	CONSIDERAÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	MATERIAIS	46
4.1.1	Bagaço de cana-de-açúcar	46
4.1.2	Resíduo de eucalipto	47
4.1.3	Adesivo Poliuretano de mamona (PU-Mamona)	48

4.1.4	Resina ureia-formaldeído (CASCAMITE)	48
4.2.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	50
4.2.1	Definição dos tratamentos	51
4.2.1.1	Definição dos tratamentos - Primeira etapa.....	51
4.2.1.2	Definição dos tratamentos - Segunda etapa.....	52
4.2.2	Preparo das partículas	54
4.2.3	Ensaio para determinação da composição granulométrica	56
4.2.4	Cálculo da massa de partículas dos painéis	57
4.2.5	Confecção dos painéis	57
4.2.6	Execução dos ensaios	61
4.2.6.1	Ensaio físicos.....	61
4.2.6.1.1	Densidade (D)	61
4.2.6.1.2	Teor de umidade (U)	63
4.2.6.1.3	Inchamento após 24h (I)	64
4.2.6.2	Ensaio mecânicos.....	65
4.2.6.2.1	Módulo de resistência à flexão estática (MOR)	65
4.2.6.2.2	Módulo de elasticidade (MOE)	66
4.2.6.2.3	Resistência à tração perpendicular (TP)	66
4.2.7	Análise estatística dos resultados	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS PAINÉIS DA PRIMEIRA ETAPA	69
5.1	AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (PARTÍCULAS) ..	69
5.2	AVALIAÇÃO DA DENSIDADE	71
5.3	AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	72
5.4	AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO APÓS 24H	73
5.5	AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA ..	74
5.6	AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE	75
5.7	AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO PERPENDICULAR	75
5.8	CONSIDERAÇÕES GERAIS - PRIMEIRA ETAPA	77
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS PAINÉIS DA SEGUNDA ETAPA	80
6.1	AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (PARTÍCULAS) ..	80
6.2	AVALIAÇÃO DA DENSIDADE	82
6.3	AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE	85
6.4	AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO APÓS 24H	87

6.5	AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA ..	89
6.6	AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)	91
6.7	AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO PERPENDICULAR	93
6.8	ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS	96
7	CONCLUSÕES	99
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
	REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com Caraschi, Leão e Chamma (2009) os painéis de madeira aglomerada são produzidos, geralmente, a partir de partículas de madeira aglutinadas com adesivos sintéticos ou outro aglomerante, prensados a quente para a cura da resina. Esses painéis também podem ser fabricados a partir de qualquer outro material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira.

Os painéis aglomerados apresentam-se como uma forma de ampliar o aproveitamento dos materiais provenientes da produção florestal, propiciando um destino mais nobre às madeiras de dimensões ou qualidade inferiores (GUIMARÃES JÚNIOR, 2008).

Segundo Klímek et al. (2018), considerando os altos volumes de produção juntamente com as restrições evidenciadas dos recursos naturais, uma futura escassez no fornecimento de madeira está potencialmente se tornando um assunto crítico. Deste modo, a variedade crescente de recursos lignocelulósicos pode ser de importância estratégica, pois a utilização de resíduos agrícolas como matéria-prima certamente tem benefícios econômicos, reduz os encargos ambientais e melhora a eficiência da cadeia de valor.

Geldermann et al. (2016) afirmam que muitas pesquisas sobre desenvolvimento de materiais inovadores estão em andamento, pois observa-se que os consumidores de hoje estão preocupados não apenas com qualidade e preço, mas também com os impactos sociais e ambientais de produtos e processos.

Em virtude do aumento do preço e a diminuição da oferta de madeiras, o emprego de produtos à base de materiais lignocelulósicos (resíduos agroindustriais e fibras vegetais) tem crescido ao longo do tempo e a tendência é ter sua demanda aumentada (CARASCHI; LEÃO; CHAMMA, 2009).

Assim, Chamma (2004) afirma que a produção de painéis alternativos com aplicação de resíduos de diferentes origens pode contribuir para o atendimento da demanda de painéis e promover a adequada disposição final de resíduos, preservando os recursos naturais.

Neste trabalho, será avaliada a utilização de partículas de resíduos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis* e bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) na produção de painéis aglomerados com dois tipos diferentes de adesivo, poliuretano à base de óleo de mamona e a ureia-formaldeído.

1.2 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

O desmatamento mundial continua sendo uma grande preocupação. De acordo com Negrão (2013), os problemas ambientais resultantes da exploração florestal nunca antes foram tão discutidos. As ações antrópicas sobre o espaço ganharam reconhecimento, não apenas pela vastidão e relevância de suas interferências, mas também pelas perturbações que tais alterações causaram ao ambiente.

Ainda segundo Negrão (2013), a ideia de exploração racional e de manejo planejado para exploração das florestas nativas do Brasil foi divulgada por meio da Agenda 21. Contudo, a exploração florestal brasileira, em geral, ainda é realizada em florestas nativas, sem emprego de um plano de manejo, gerando baixa produtividade, reposição florestal insuficiente e preocupação com o esgotamento dos recursos naturais. Isto tem impulsionado uma grande mobilização com o intuito de proteger estes recursos através do desenvolvimento da ciência.

Os problemas com a escassez madeireira no Brasil, resultantes do desmatamento das florestas, fomentam programas e metas para a devida utilização dos resíduos industriais e agrários (SILVA, 2016).

Marton (2014) afirmou que uma das grandes preocupações da sociedade mundialmente é a redução da extração de bens naturais, principalmente os não renováveis e os de difícil renovação.

O crescimento populacional aliado ao incremento das atividades industriais tem acarretado um aumento considerável na produção de resíduos. Assim a gestão dos mesmos tornou-se uma questão premente, tendo em vista os inúmeros episódios críticos de poluição relacionados ao trato inadequado destes. Conjuntamente a esse crescimento, anseia-se pelo desenvolvimento sustentável e, portanto, há urgência em se efetuar o gerenciamento criterioso desses resíduos de modo a permitir o controle e a prevenção da poluição (CETESB, 2017).

Segundo Albertini, Carmo e Prado Filho (2007) a indústria ainda não tem uma solução para todos os seus resíduos e a geração destes apresenta valores significativos, o que induz a considerar a sua utilização na cadeia produtiva, pois não podem ser simplesmente queimados ou dispensados em locais inadequados gerando problemas ambientais.

Uma das soluções para diminuir o descarte inapropriado é a reutilização das sobras da produção primária, evitando a extração de bens de difícil renovação para a criação de novos produtos que atendam a critérios de eco eficiência, reduzindo a energia empregada no processo, economizando matéria-prima e diminuindo os custos de produção. Os subprodutos podem ser considerados matéria-prima alternativa à medida que seu uso seja economicamente viável e sustentável (SILVA, 2016).

Segundo dados do Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2017), o Brasil se enquadra como maior produtor mundial de cana-de-açúcar, sendo de grande importância para o agronegócio brasileiro. A área de cana colhida na safra 2017/18 deverá atingir 8.838,5 mil hectares, estando sua produção concentrada na Região Sudeste, gerando um significativo volume de resíduos, os quais são comumente utilizados para a produção de energia.

Observa-se que no Brasil, os setores de construção civil e de mobiliário consomem um volume significativo de madeira e para se atender à demanda cada vez mais crescente faz-se necessário aumentar a área de plantio e procurar opções de matéria-prima que possam contribuir de forma quantitativa e qualitativa. Sendo assim, para atender a demanda do setor de painéis aglomerados, o aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria brasileira mostra-se como alternativa viável, apresentando vários tipos de resíduos lignocelulósicos com potencialidades para aproveitamento (MENDES et al., 2010).

Portanto, a utilização de resíduos agroindustriais ambicionando agregar valor ao produto é uma solução viável para a fabricação de derivados da madeira e vem substituindo a madeira maciça progressivamente (ROCHA, 2016).

O processo produtivo de painéis particulados como o MDP (*Medium Density Particleboard*) encontra-se em contínua evolução tecnológica. Desta forma é de grande importância o estudo de novas combinações de matéria-prima, focando nos parâmetros que irão influenciar a sua qualidade final (BELONE, 2010).

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação apresenta nove capítulos, descritos a seguir:

O primeiro capítulo se constitui da Introdução.

No segundo capítulo estão descritos os objetivos gerais e específicos.

O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com os aspectos mais relevantes relacionados ao tema estudado neste trabalho.

No quarto capítulo são apresentados os materiais e métodos de acordo com os parâmetros da NBR 14810-1 e 2:2013.

O quinto capítulo exhibe os resultados dos ensaios experimentais realizados na primeira etapa da pesquisa, com suas respectivas discussões.

No sexto capítulo são exibidos os resultados dos ensaios definitivos realizados na segunda etapa da pesquisa, com suas respectivas discussões.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho.

O oitavo capítulo apresenta sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, no nono capítulo estão relacionadas as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é produzir e avaliar o potencial de utilização de painéis de partículas produzidos com partículas de bagaço cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum L.*), em associação a partículas de madeira de Eucalipto dos gêneros *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, resíduos provenientes da cana-de-açúcar e do descascamento de eucalipto oriundo da produção de celulose, respectivamente, utilizando-se dois tipos de adesivos, o poliuretano à base de óleo de mamona e a ureia-formaldeído.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Produzir painéis aglomerados com misturas de partículas de resíduos de eucalipto e de bagaço de cana-de-açúcar.
- b) Determinar através dos resultados físicos e mecânicos a viabilidade de utilização de acordo com a classificação e parâmetros da ABNT NBR 14810-1 e 2:2013.
- c) Avaliar a eficiência de cada aglomerante utilizado considerando os resultados obtidos com os ensaios para caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.
- d) Efetuar análise comparativa das propriedades dos painéis obtidas com o adesivo poliuretano à base de óleo de mamona e a resina ureia-formaldeído.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PANORAMA DO SETOR FLORESTAL BRASILEIRO

Segundo o SNIF - *Sistema Nacional de Informações Florestais* (2016a) denomina-se "floresta", mata, mato, bosque, capoeira ou selva qualquer vegetação que apresente predominância de indivíduos lenhosos, onde as copas das árvores se toquem. O Brasil é considerado um país florestal, pois possui aproximadamente 58% do território coberto por florestas, naturais e plantadas, o que representa a segunda maior área de florestas do mundo, estimado em 485,8 milhões de hectares de florestas nativas e 9,9 milhões de hectares de florestas plantadas, atrás apenas da Rússia.

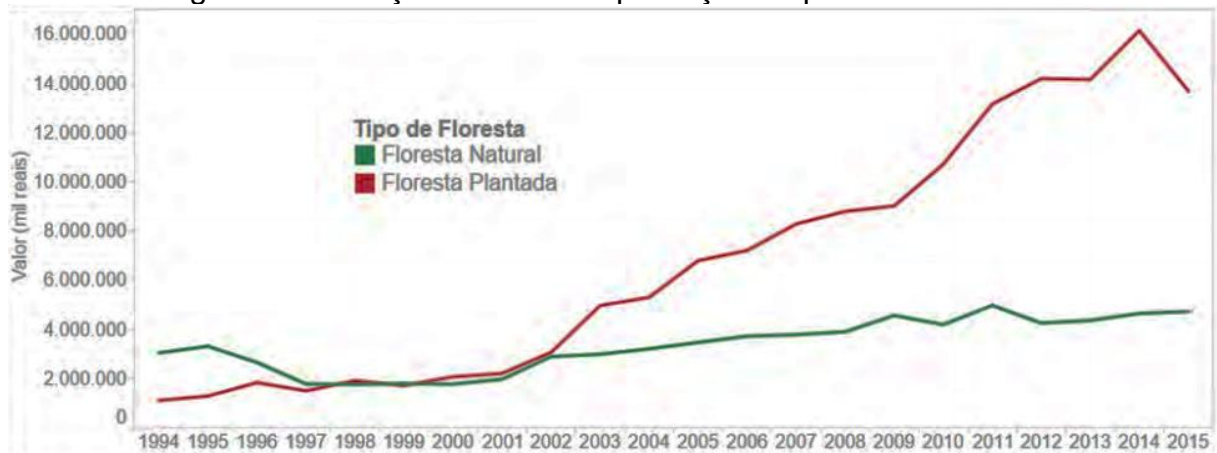
O Brasil está inserido em um segmento agroflorestal industrial que atua em um mercado globalizado e ativo, com produtos de alta qualidade (CNI, 2017).

O SNIF (2016b) afirma que produção pode ser definida como a atividade de transformação (processo) de matéria-prima em bens de consumo (produtos). Tratando-se de produção florestal, a matéria-prima pode ser proveniente de florestas naturais ou plantadas. A transformação da matéria-prima florestal resulta em produtos, onde se consideram:

- a) Produto Madeireiro: todo o material lenhoso apto a ter aproveitamento para serraria, estacas, lenha, poste, moirão, etc.
- b) Produto não Madeireiro: todo o produto florestal não lenhoso de origem vegetal, como resinas, cipó, óleo, sementes, plantas ornamentais, plantas medicinais, assim como serviços sociais e ambientais, como reservas extrativistas, sequestro de carbono, conservação genética e outros benefícios oriundos da manutenção da floresta.

O setor florestal brasileiro tem grande importância como fornecedor de energia ou matéria-prima para a indústria da construção civil e da transformação. É possível observar ao longo dos anos (Figura 1), um aumento na participação da floresta plantada em relação ao valor dos produtos extraídos, tanto madeireiros quanto não madeireiros. Em 2015, a extração de florestas plantadas correspondeu a 13,7 bilhões de reais (74,4%) enquanto a floresta natural contribuiu com 4,7 bilhões (SNIF, 2016b).

Figura 1 - Evolução do valor de produção de produtos florestais



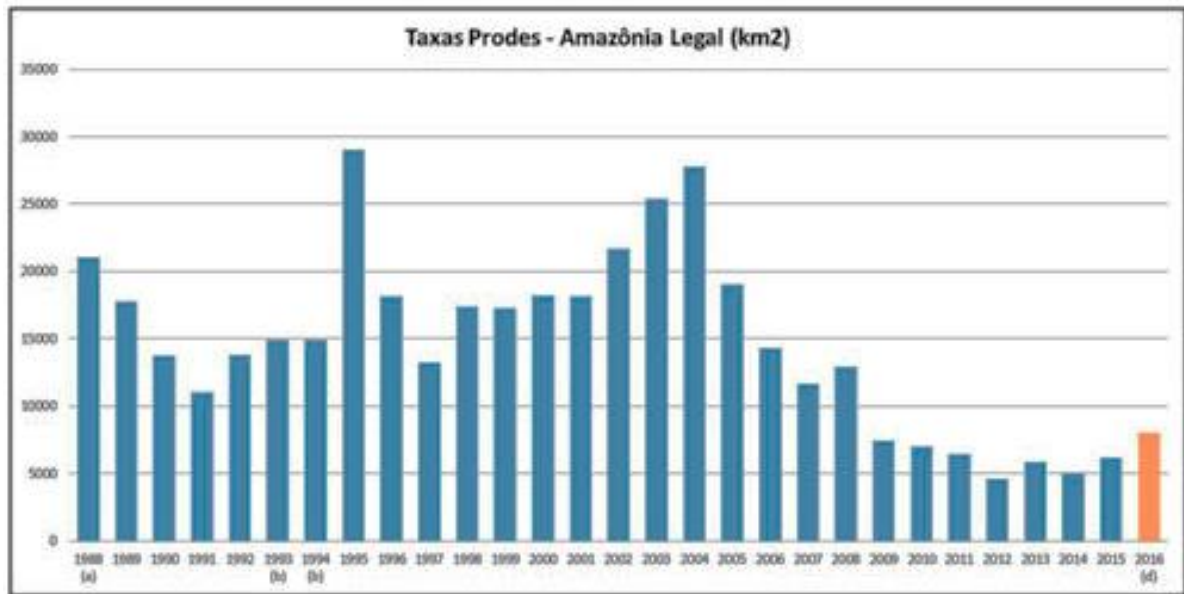
Fonte: SNIF (2016b)

De acordo com a CNI - *Confederação Nacional da Indústria* (2017), a indústria brasileira de árvores plantadas é o resultado de uma combinação de fatores como o manejo florestal sustentável, a alta produtividade dos plantios de suas principais espécies (eucalipto, pinus, teca e paricá), a sustentabilidade que permeia toda a cadeia produtiva do setor e os investimentos na busca por soluções inovadoras para o mercado brasileiro e global.

As árvores plantadas para fins produtivos são um grande diferencial frente aos concorrentes globais: no processo de plantio, as árvores são cultivadas respeitando planos de manejo sustentável, que têm como objetivo reduzir os impactos ambientais e promover o desenvolvimento econômico e social das comunidades do entorno dos plantios e das fábricas (CNI, 2017).

Mas apesar do crescimento na utilização e de todas as vantagens das florestas plantadas, segundo dados do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), do INPE - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (2016), a estimativa de desmatamento na Amazônia aponta a taxa de 7.989 km² de corte raso no período de agosto de 2015 a julho de 2016, indicando um aumento de 29% em relação a 2015, ano em que foram medidos 6.207 km² (Figura 2).

No entanto, a taxa atual representa uma redução de 71% em relação à registrada em 2004, ano em que foi iniciado pelo Governo Federal o Plano para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm), atualmente coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Figura 2 - Desmatamento anual na Amazônia Legal (km²)

Fonte: SNIF (2016b)

Sendo: (a) média entre 1977 e 1988, (b) média entre 1993 e 1994, (d) estimativa

Pode-se observar que a situação ainda está longe do ideal, afinal o desmatamento ilegal e os problemas na obtenção dos dados são uma realidade, sendo necessário que ocorram ações reais para implantação de planos de manejos adequados para que ocorra uma exploração sustentável (NEGRÃO, 2013).

Diante deste panorama, faz-se necessário buscar soluções ambientalmente sustentáveis para a fabricação de derivados de madeira.

3.2 PAINÉIS DE MADEIRA AGLOMERADA

3.2.1 Definição

A FAO - *Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação* (2016) afirma que um painel de partículas é fabricado a partir de pequenos pedaços de madeira, como chips, flocos, partículas, pedaços ou outros materiais lignocelulósicos ligados entre si por meio de um aglutinante, fazendo uso de agentes como calor, pressão, umidade, catalisadores, entre outros.

Já a ABNT - *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (2013a), o define como um painel de partículas de média densidade (MDP) constituído de partículas de madeira aglutinadas com resina sintética termofixa, que se consolidam sob a ação conjunta de calor e pressão, apresentando densidade entre 551 kg/m³ e 750 kg/m³.

3.2.2 Histórico

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40 como alternativa para suprir a demanda, devido à indisponibilidade de madeira de boa qualidade, o que viabilizou a utilização de resíduos (IWAKIRI *et al.*, 2005). Após 1946, o desenvolvimento dos painéis continuou nos Estados Unidos da América com o aperfeiçoamento dos processos produtivos.

Segundo Caraschi, Leão e Chamma (2009), a tecnologia de produção de painéis ou chapas aglomeradas desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em função da escassez da matéria-prima e, também, para a redução das perdas que ocorriam tanto na indústria madeireira como na exploração florestal.

A produção brasileira de painéis aglomerados teve início em 1966 em Curitiba, pela empresa Placas do Paraná (PEDRESCHI, 2009).

De acordo com Maloney (1977), ao longo dos anos a indústria de aglomerados mudou para incorporar novos materiais como fonte de matéria-prima, fato observado principalmente nos períodos de 1940, 1956, 1891 e 1991, associado à necessidade de se garantir matérias-primas suficientes para a produção e a construção de muitas novas plantas de fabricação.

Observa-se que as indústrias brasileiras do setor de painéis reconstituídos de madeira (Figura 3), localizadas principalmente nas regiões sul e sudeste, têm empreendido grandes investimentos na implantação de novas unidades produtivas e em novas áreas de plantios florestais para assegurar o suprimento de madeira. Este desenvolvimento deve-se à demanda crescente deste produto (IWAKIRI *et al.*, 2012).

Figura 3 - Unidade Industrial de Aglomerados da Eucatex em Botucatu



Fonte: Eucatex (2007)

3.2.3 Caracterização econômica

Conforme dados da FAO (2016), a produção de painéis à base de madeira no Brasil representa apenas 3% do total da produção mundial e o consumo interno atingiu aproximadamente 83% da produção nacional (Tabela 1).

Tabela 1 - Produção e consumo de Painéis

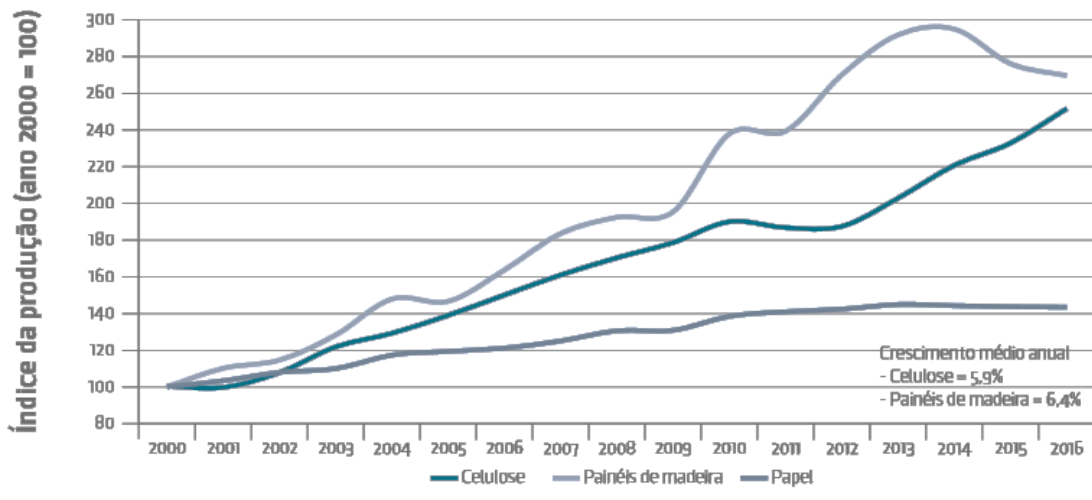
Tipo de Painel	Produção (1000 m³)	Consumo (1000 m³)
Painéis à base de madeira - Mundo	387639	382661
Painéis à base de madeira - Brasil	11841	9776
Painéis de partículas - Mundo	110863	110554
Painéis de partículas - Brasil	3428	3317

Fonte: Adaptado de FAO (2016)

Desde 2000 a produção de painéis de madeira nacional tem registrado crescimento anual médio de 6,4%, enquanto as produções de celulose e de papel registraram um crescimento médio anual de 5,9% e 2,3%, respectivamente (Figura 4).

Este aumento tem levado o País a ocupar importantes posições entre os produtores mundiais, apontando o Brasil como o segundo maior produtor mundial de celulose, onde, em relação à celulose de eucalipto, o País é o primeiro produtor mundial e o oitavo nos segmentos de papel e de painéis de madeira reconstituída. Em 2016, a indústria de base florestal brasileira foi responsável por 6,2% do PIB industrial brasileiro (CNI, 2017).

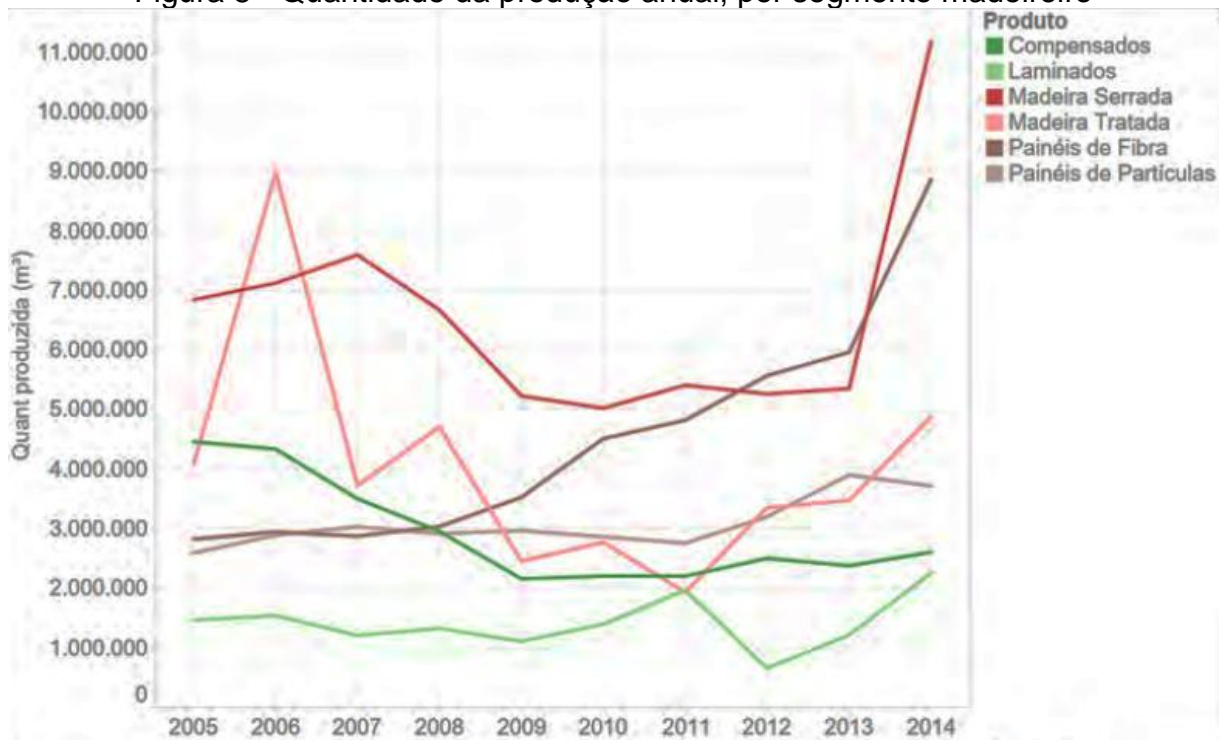
Figura 4 - Gráfico do crescimento médio anual da produção de celulose e painéis



Fonte: CNI (2017)

De acordo com o SNIF (2016b), os serviços de produção madeireira em 2014 representaram um valor de R\$1,29 bilhões. O produto madeireiro de maior valor de produção em 2014 foi o papel, com uma produção de 13.100.071 toneladas, seguido pela celulose (11.952.090 ton), em terceiro lugar os painéis de fibra (8.854.150 m³), estando os painéis de partículas em quinto lugar com aproximadamente 4 milhões de metros cúbicos (Figura 5).

Figura 5 - Quantidade da produção anual, por segmento madeireiro

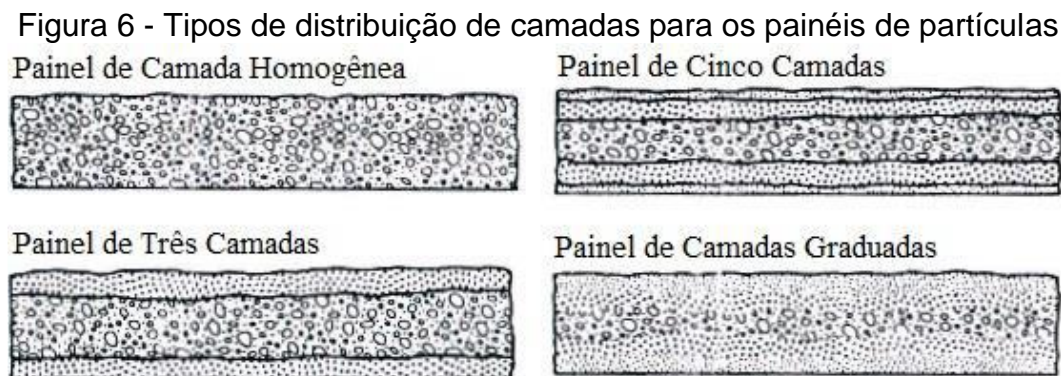


Fonte: SNIF (2016b)

3.2.4 Características Gerais

Nos painéis, toda a ligação entre as partículas é criada pela resina adicionada, a qual geralmente é ativada sob temperatura e pressão. Trata-se de um material isotrópico no plano do painel, no entanto, pode apresentar valores de resistência na direção paralela à formação do colchão cerca de 10% superiores aos da direção perpendicular (DINHANE, 2016).

A distribuição das partículas pode ser efetuada de maneira homogênea formando uma única camada, ou em várias camadas separadas de acordo com sua distribuição granulométrica, como pode ser observado na Figura 6.



Fonte: Dinhane (2016), adaptado de Moslemi (1974)

Os painéis de madeira aglomerada são produtos amplamente utilizados no Brasil. Uma das vantagens destes painéis é a utilização em potencial das espécies de madeira, assim como dos resíduos oriundos de serraria ou da indústria de beneficiamento de madeiras. Outra vantagem é a possibilidade de obter propriedades menos discrepantes em suas direções preferenciais (LAHR, 2008).

A utilização de painéis de madeira visa superar algumas desvantagens apresentadas pela madeira maciça natural. As vantagens adquiridas na utilização dos painéis em comparação à madeira maciça são:

- a) Melhoria nos aspectos de rendimento, onde se aproveita praticamente todo o material do lenho;
- b) Diminuição da anisotropia e heterogeneidade características do material, gerando um material homogêneo e livre dos defeitos comuns da madeira;

- c) Utilização de madeiras de densidade baixa a média e também de rápido crescimento e reflorestamento;
- d) Possibilitam a produção de painéis de grandes dimensões;
- e) Maior estabilidade dimensional, melhoria na resistência à biodeterioração e de suas propriedades físicas e mecânicas, sendo possível incrementar propriedades térmico-acústicas;
- f) Melhor impregnação de produtos preservativos;
- g) Emprego de outras partículas de composição química semelhante à da madeira na sua fabricação;
- h) Menor custo; e
- i) Menor gasto de energia com menor tempo de produção.

No Brasil a qualidade dos painéis produzidos e a verificação das possibilidades de uso são definidas de acordo com os resultados obtidos através de ensaios para mensuração de suas propriedades físicas e mecânicas, realizadas com base nos documentos normativos NBR 14810-1 e 2, (ABNT, 2013a e 2013b respectivamente).

Dentre os parâmetros mais importantes analisados encontram-se a espessura, largura, comprimento, esquadro, retineidade, densidade aparente, teor de umidade, inchamento em espessura após 24 horas, Resistência à Tração Perpendicular ou Adesão Interna (TP), Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE), cujos parâmetros ideais são definidos pelo instrumento normativo para cada tipo de painel, de acordo com sua indicação de uso.

Fiorelli et al. (2014a) e Gonçalves et al. (2013) afirmaram que os painéis de partículas, em virtude de possuírem diversas características favoráveis, encontram utilizações das mais variadas, como na construção civil para aplicações estruturais ou não estruturais (pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto etc.), na construção de barcos e na fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros.

3.2.5 Classificação

Os painéis de partículas de média densidade são classificados, segundo ABNT (2013a), em seis tipos, sendo:

- a) P2 - Painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- b) P3 - Painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- c) P4 - Painéis estruturais para uso em condições secas;
- d) P5 - Painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- e) P6 - Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas; e
- f) P7- Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições úmidas.

A Tabela 2 apresenta um resumo com os tipos de painéis e seus respectivos requisitos normativos segundo as NBR 14810: 1 e 2 (ABNT, 2013a e b).

Tabela 2 – Tipos de painéis e requisitos normativos

Tipo	Uso estrutural	Condições de uso	D (kg/m ³)	U (%)	I (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
P2	Não	Internas secas			18	11	1800	0,40
P3	Não	Úmidas			17	15	2050	0,45
P4	Sim	Secas	511 a 750	5 a 13	19	16	2300	0,40
P5	Sim	Úmidas			13	18	2550	0,45
P6	Sim	Severas secas			16	20	3150	0,60
P7	Sim	Severas úmidas			10	22	3350	0,75

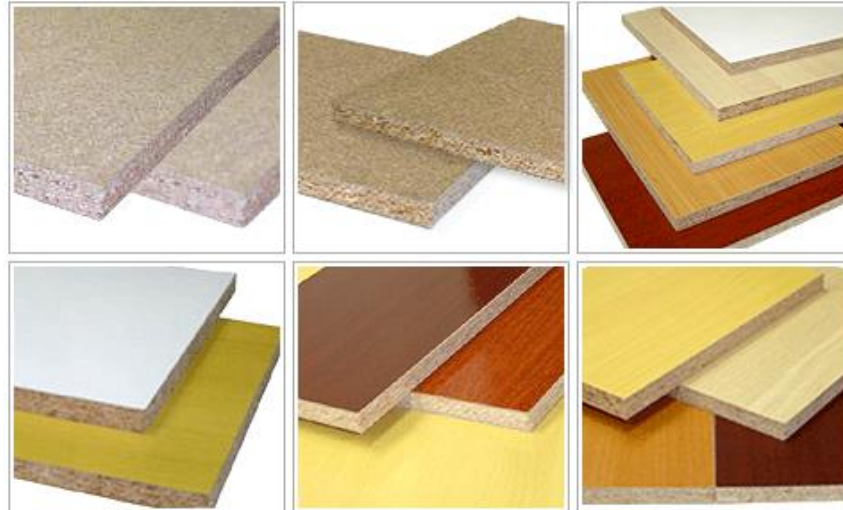
Sendo D = Densidade, U = Umidade, I = Inchamento após 24h, MOR = Módulo de resistência à flexão estática, MOE = Módulo de elasticidade e TP = Resistência à Tração Perpendicular. Requisitos para faixa de espessura nominal entre 6 e 10mm segundo as NBR 14810: 1 e 2 (ABNT, 2013).

Fonte: Acervo da autora

Além da classificação quanto à utilização, os painéis MDP (Figura 7) também podem ser classificados em revestidos, caso recebam acabamentos superficiais como lâminas de papel, laminado plástico de alta ou baixa pressão, filme plástico, lâminas

de madeira ou pintura, em uma ou em suas duas faces ou não revestidos caso não recebam a aplicação de nenhum tipo de acabamento.

Figura 7 - Painéis MDP



Fonte: Eucatex (2007)

3.2.6 Fabricação

Segundo Bertolini (2011), a fabricação dos painéis aglomerados depende dos tipos de partículas que definem a estrutura do painel, tipo de resina e aditivos, equipamentos e métodos empregados na manufatura dos painéis.

A princípio, as chapas aglomeradas de madeira também podem ser produzidas com qualquer outro material lignocelulósico que lhe confira um peso específico predefinido e apresente resistência mecânica, física e biológica apropriada, uma vez que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira, preservando assim nossos recursos naturais (MALONEY, 1977; STANGERLIN et al.; 2011; FIORELLI et al., 2015).

Caraschi, Leão e Chamma (2009), citam que os materiais lignocelulósicos provenientes de subprodutos agroindustriais vêm sendo utilizados com sucesso na fabricação de painéis.

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; SILVA, 2014).

Faz-se necessária a conscientização, demonstrando o valor da empresa na sociedade, em relação às limitações dos recursos naturais da Terra. O uso total de recursos naturais renováveis, como a madeira, coloca a indústria de produtos florestais em uma operação para manter e melhorar a vida humana, nenhuma outra indústria de produtos de construção possui uma base de recursos que pode ser mantida infinitamente (MALONEY, 1977).

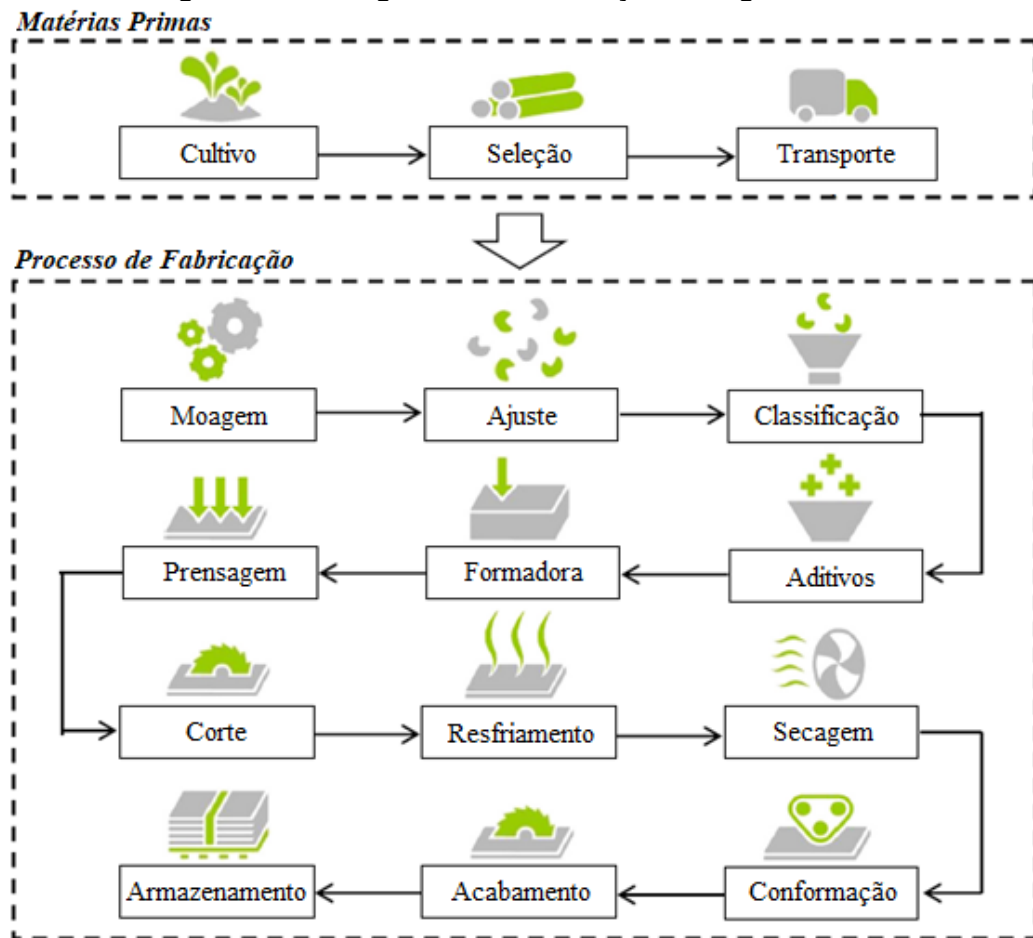
3.2.6.1 *Processo de fabricação industrial*

As indústrias brasileiras de painéis aglomerados utilizam preferencialmente cavacos de madeira de reflorestamento, o que determina inclusive uma melhor qualidade do produto, devido ao melhor controle de homogeneidade da matéria-prima (CARASCHI; LEÃO; CHAMMA, 2009).

Segundo Bufalino (2010), no Brasil destacam-se como principal matéria-prima para a produção de painéis de madeira aglomerada os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, presentes nos extensos plantios florestais do país.

Convencionalmente, as partículas de um painel são obtidas através de um processo de fragmentação dos pedaços de madeira e posteriormente são aglutinadas, utilizando-se uma resina consolidada através de aplicação de calor e pressão conforme fluxograma da figura 8.

Figura 8 - Fluxograma da fabricação de aglomerados



Fonte: Santos et al. (2014) (Traduzido pela Autora)

3.2.7 Fatores que influenciam as propriedades dos painéis

Várias propriedades físicas dos painéis aglomerados de partículas são importantes. Muitas dessas propriedades, como a densidade, têm uma influência significativa sobre a resistência resultante e as características higroscópicas do painel. No entanto, esta, bem como a liberação de formaldeído e as características da superfície, também depende de parâmetros de processamento, tais como condições de pressão, conteúdo de resina e geometria de partículas (KELLY, 1977).

De acordo com Maloney (1977), destacam-se entre os principais parâmetros que afetam as propriedades dos painéis: as espécies, os adesivos, os aditivos, a homogeneização, a distribuição, as camadas, o alinhamento e o tamanho das partículas e a densidade dos painéis.

Uma das variáveis mais importantes presentes no processamento é a espécie florestal, pois a mesma interage com as demais. Sua relevância está ligada à sua disponibilidade, além de limitar o tipo de partícula a ser produzida (GUIMARÃES JÚNIOR, 2008).

Iwakiri et al. (2005), afirmaram que dentre as numerosas variáveis dentro do processo produtivo, o tipo de resina utilizada e a densidade do painel são de grande importância para adequação das propriedades do aglomerado.

Segundo Kelly (1977), os dois fatores mais importantes que controlam a densidade final média de um painel aglomerado são a densidade da matéria-prima e a compactação na prensagem à quente. Desta forma, qualquer um desses fatores pode ser alterado para aumentar ou diminuir a densidade média dos painéis aglomerados. A densidade de um painel de aglomerado prensado a quente não é uniforme na direção de espessura (vertical), mas varia através dela. O perfil de densidade de uma placa é altamente dependente da configuração de partículas, distribuição de umidade, tempo, força e temperatura de prensagem, reatividade da resina e resistência à compressão das partículas de madeira do componente.

Para Dias (2004), o pH ideal do adesivo utilizado em madeira deve estar contido em um intervalo de 1,5 a 11, pois um valor alto ocasiona degradação das fibras, trazendo prejuízos ao produto, enquanto que o pH baixo pode trazer prejuízos na aplicação da resina caso ocasione uma formação excessiva de espuma.

De acordo com Gonçalves et al. (2013), a geometria das partículas e o teor de umidade também são elementos que determinam as características físicas e mecânicas de um painel. No processo de prensagem, a transferência de calor no interior do painel é comandada pela umidade e essa transferência de calor promove a cura da resina, portanto o teor de umidade das partículas, na prensagem, exerce influência na resistência à compressão.

Chamma (2004), afirmou que uma umidade excessiva das partículas, leva a um maior tempo de prensagem para que haja a liberação de vapor e ocorra a adesão entre as partículas das camadas interiores, enquanto que para uma umidade abaixo dos valores mínimos, acarreta uma adesão insatisfatória entre as partículas pela redução da transferência de calor da superfície ao centro do painel.

Para Pierre (2010), o desempenho dos painéis é, em grande parte, o reflexo das características geométricas da partícula (comprimento e espessura) que influem fortemente na transmissão das propriedades da madeira ao painel. O coeficiente de esbeltez (relação entre o comprimento e espessura da partícula) tem grande influência na resistência à tração perpendicular e à flexão dos painéis, onde partículas longas e finas dão origem a painéis com maior resistência à flexão estática e estabilidade dimensional, ao mesmo tempo que painéis produzidos com partículas curtas e espessas melhoram a sua resistência à tração perpendicular. A área superficial específica da partícula também influencia nas propriedades por se tratar da área de contato entre as partículas e a linha de cola.

Moslemi (1974) e Maloney (1993) apud Iwakiri et al. (2005) definem a razão de compactação como a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, considerando como aceitável o intervalo entre 1,3 a 1,6, garantindo assim uma adesão adequada entre as partículas de madeira. De acordo com Kelly (1977), é necessário um grau de compactação mínimo das partículas de madeira para a consolidação do painel aglomerado durante o ciclo de prensagem, onde à medida que a proporção de compactação aumenta, o módulo de resistência à flexão estática (MOR) aumenta.

A liberação de formaldeído a partir de aglomerados de partículas com resinas de ureia-formaldeído é um problema que tem sido frequentemente estudado. A taxa de liberação de formaldeído do aglomerado diminui com o tempo de prensagem, temperatura e umidade durante o armazenamento, sendo que o transporte e o uso também influenciam a taxa de liberação. As condições de processamento, como o tempo na prensa, o teor de umidade, o teor de adesivo e a reatividade, bem como a temperatura da prensa influenciam a taxa de liberação de formaldeído. (KELLY, 1977).

3.3 EUCALIPTO

De acordo com Santarosa *et al.* (2014), o gênero *Eucalyptus* teve a sua origem na Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania, existindo cerca de 730 espécies reconhecidas botanicamente, das quais não mais do que 20 são utilizadas atualmente para fins comerciais em todo o mundo. Não se sabe ao certo a data exata da

introdução do eucalipto no Brasil, existindo relatos de que os primeiros exemplares foram plantados no Jardim Botânico em 1825 e também que os primeiros plantios ocorreram de fato em 1868, no Rio Grande do Sul. Os primeiros estudos com o eucalipto no Brasil só foram iniciados em 1904, por Edmundo Navarro de Andrade, no Horto Florestal de Rio Claro, SP.

As espécies do gênero *Eucalyptus* surgiram como alternativa diante da dificuldade cada vez maior de se obter madeira oriunda de florestas nativas, devido principalmente, ao seu rápido crescimento. Tendo em vista a variabilidade natural e a adequação aos diversos usos, o estudo destas espécies vem ganhando importância pela possibilidade de alteração das características limitantes devido ao melhoramento genético adequando a qualidade ao uso industrial (GUIMARÃES JÚNIOR, 2008).

Dentre os numerosos tipos de espécies arbóreas existentes, o eucalipto tem sido amplamente utilizado em plantios florestais no país, destacando-se pela sua alta produtividade, por possuir uma ampla diversidade de espécies, ser de rápido crescimento e ter grande capacidade de adaptação (MORA; GARCIA, 2000).

Segundo Paludzyszyn Filho e Santos (2011) o eucalipto é a espécie florestal mais plantada no Brasil, ocupando uma área superior a 4,75 milhões de hectares. Na região Sudeste concentra-se aproximadamente 56% da área plantada de eucalipto no território nacional. A madeira produzida é destinada para celulose/papel, geração de energia, biorredutor na siderurgia, manufatura de painéis à base de madeira reconstituída, obtenção de madeira roliça, produção de sólidos madeiráveis a partir de serrados e laminados. E com o desenvolvimento de novas tecnologias, bem como com os avanços técnicos em processos já conhecidos, a produção de bio-óleo, celulignina catalítica, gases de síntese (singás) e álcool a partir da celulose vêm assumindo papéis estratégicos e complementares aos atuais usos da madeira para fins energéticos (lenha e carvão).

Entretanto o crescimento da área reflorestada no País foi realmente marcante somente a partir da promulgação da Lei de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento, consolidando-se graças ao Plano Nacional de Desenvolvimento, criado pelo Governo Federal na década de 1970. As espécies mais utilizadas atualmente no Brasil são: *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus viminalis*,

híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* (SANTAROSA et al., 2014).

3.4 BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

No início do século XVI, a cana-de-açúcar foi introduzida no Brasil pelos portugueses em duas regiões diferentes: no Nordeste, no estado de Pernambuco e, no Sudeste, no estado de São Paulo e somente na década de 70, com o Programa Brasileiro do Álcool promoveu-se um grande aumento da área de cultivo da cana no Brasil (PEDRESCHI, 2009).

De acordo com o CONAB (2017), a produção brasileira de cana-de-açúcar estimada para a safra 2017/18, é de 647,6 milhões de toneladas, a área a ser colhida está estimada em 8,84 milhões de hectares e por fim, a produção de açúcar deverá atingir 38,70 milhões de toneladas. Espera-se que, apenas na região Sudeste do território brasileiro, atinja-se 421,87 milhões de toneladas de cana-de-açúcar processadas.

Na produção da cana-de-açúcar são gerados subprodutos como bagaço, torta de filtro, melação, vinhaça, levedura seca, entre outros.

A Embrapa (2018) define o bagaço da cana-de-açúcar como um resíduo fibroso da extração do caldo pelas moendas. Constitui-se em um dos mais importantes subprodutos para a indústria sucroalcooleira devido a proporção em que é produzido e à sua composição. Suas principais aplicações são como combustível para caldeira, na produção de celulose e na alimentação de gado confinado. A quantidade produzida depende do teor de fibra da cana processada, resultando em aproximadamente 280 quilos de bagaço por tonelada de cana processada.

Aproximadamente 20% do peso da cana-de-açúcar constitui-se de parte dura (casca e nó) enquanto a parte mole (entre nós) representa aproximadamente 80% do total. Na moagem, a parte dura gera 75% de fibra e 25% de caldo, enquanto a parte mole dá origem a 8% de fibra e 92% de caldo (CRUZ, 2017).

Durante o processo de moagem, a fibra é separada do caldo, sendo o resíduo do bagaço de cana composto de aproximadamente 50% de água, 46% de fibras e 4% de sólidos dissolvidos. Sua composição química é variável e dependente de fatores como o tipo de cana, de solo e as técnicas de colheita, sendo constituída aproximadamente de celulose (26,6 a 54,3%), hemicelulose (14,3 a 24,4%) e lignina (22,7 a 29,7%) (PEDRESCHI, 2009).

Segundo Paula (2011), a fibra é a fração sólida orgânica insolúvel em água, presente no colmo da cana-de-açúcar e apresenta marcante heterogeneidade química e morfológica. Os sólidos insolúveis de natureza orgânica são constituídos sobretudo por terra, pedras e outras impurezas. Os sólidos solúveis compõem a fração que se dissolve na água, basicamente composta por sacarose, bem como por outros compostos químicos em menor proporção, como a cera.

O bagaço é o resíduo sólido lignocelulósico deixado após o processamento da cana-de-açúcar, uma planta não-madeireira. Uma grande parte do bagaço é queimada para o fornecimento de energia. No entanto, considerando a grande quantidade dessa matéria-prima produzida anualmente em países como o Brasil, os esforços devem ser abordados para aumentar as valiosas aplicações do bagaço de cana-de-açúcar restante. Além disso, o armazenamento deste material inclui um risco devido à possibilidade de combustão espontânea do bagaço armazenado (HOAREAU et al., 2006).

Pedreschi (2009) afirma que no Brasil o bagaço da cana-de-açúcar trata-se do maior resíduo da agroindústria. As próprias usinas utilizam boa parte do bagaço como fonte energética, mas ainda assim, calcula-se que a cada ano, o remanescente não utilizado de cana processada atinja aproximadamente 30% do total. A melhoria das antigas usinas e a atividade de um número cada vez maior de destilarias autônomas tem aumentado a quantidade de sobras consideravelmente.

3.5 ADESIVOS

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013a) define adesivo ou resina como uma substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em um painel, podendo ser de origem orgânica ou inorgânica.

Segundo Vilar (2004) ligantes são definidos como sistemas de adesivos utilizados para unir partículas de materiais diversos. Os adesivos têm a função de unir substratos e efetuar o preenchimento dos vazios entre materiais. Na fabricação de painéis aglomerados são utilizadas resinas sintéticas aquosas obtidas por condensação, como as resinas uréicas (ureia-formaldeído), melamínicas (melamina formaldeído), e fenólicas (fenol formaldeído) e os ligantes à base de isocianatos.

De acordo com Dias (2004), nas resinas, a linha de cola que é responsável pela adesão entre os substratos é constituída pela cura dos componentes sólidos, enquanto que os componentes líquidos são evaporados durante a prensagem.

Dentre os adesivos utilizados para a produção de painéis comerciais, o mais utilizado ainda é à base de ureia-formaldeído (UF) devido ao seu baixo custo. Contudo, as pesquisas da área têm avançado, o que levou à descoberta de novas resinas, como a resina poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona, seguindo a tendência mundial do emprego de produtos biodegradáveis, provenientes de insumos renováveis e não poluentes (SARTORI, 2012).

No que diz respeito às questões ambientais, Vilar (2004) afirma que a meta está no aperfeiçoamento de sistemas sem solvente, que não possuam compostos orgânicos voláteis (VOC), os quais têm sofrido restrições de uso, pois reagem fotoquimicamente com os óxidos de nitrogênio produzindo ozônio ou névoa e causando problemas como dificuldade de respiração e danos ambientais.

3.5.1 Adesivo ureia formaldeído

A ureia-formaldeído (UF) é o adesivo mais empregado em aplicações industriais na confecção de produtos aglomerados de madeira. O fator determinante

de sua utilização em larga escala é o seu baixo custo em relação às outras resinas. Entretanto, a baixa resistência à umidade limita o seu emprego ao uso interno (IWAKIRI et al., 2005).

Segundo Gonçalves et al. (2013) a resina UF é notavelmente versátil, sendo usualmente utilizada pela indústria na proporção de 12% em relação à massa total de partículas.

As vantagens do uso de adesivos de UF são: solubilidade inicial em água, dureza, o fato de não ser inflamável, boas propriedades térmicas, ausência de cor na cura dos polímeros, fácil adaptabilidade nas condições de cura. Como desvantagens, podemos citar a deterioração dos laços químicos em consequência à falta de resistência à água e a emissão de vapores de formaldeído (PIZZI, 1994). Por ser à base de água, esta resina perde resistência quando exposta à umidade em um tempo relativamente curto, o que pode diminuir a estabilidade dimensional do painel.

Na utilização da resina UF adiciona-se parafina com o objetivo de melhorar a resistência do painel com relação à absorção de água, o que possui efeito significativo apenas em curto prazo (PEDRESCHI, 2009).

Grande parte dos painéis aglomerados é usualmente produzida com a utilização da resina ureia-formaldeído, mas na prensagem e cura desta resina que acontece em altas temperaturas, entre 130 a 160°C, há uma forte emissão de formaldeído, tornando seu emprego problemático em países cujo controle ambiental é rigoroso (DIAS, 2004).

Na utilização da resina ureia-formaldeído devem ser tomados os devidos cuidados de proteção, pois por ser um produto classificado como perigoso, pode causar asma, dificuldades respiratórias, reações alérgicas na pele e até câncer.

3.5.2 Adesivo poliuretano

De acordo com Lay e Cranley (2003) o desenvolvimento de adesivos poliuretanos (PU) iniciou-se na década de 1940 e os mesmos são comercializados em uma variedade cada vez maior de mercados e produtos, onde são conhecidos por sua

excelente qualidade de adesão, flexibilidade, desempenho em baixas temperaturas, alta resistência coesiva e velocidades de cura que podem ser facilmente adaptadas às demandas do fabricante.

Os PU's são adesivos que podem unir de forma eficiente a maioria dos materiais, mostrando ser resistentes e com possibilidade de aplicação em uma grande faixa de temperaturas. Tais produtos apresentam significativo crescimento no consumo, o que deve continuar crescendo nas próximas décadas (VILAR, 2004).

Os poliuretanos são considerados bons adesivos por uma série de razões, entre elas: espalham-se efetivamente na superfície da maioria dos substratos, formam facilmente ligações ao substrato, seu pequeno tamanho molecular permite permear substratos porosos e geralmente são considerados como de baixa toxicidade em relação à irritação dos olhos, pele e vias respiratórias (LAY; CRANLEY, 2003).

As resinas poliuretanas são versáteis quanto à sua possibilidade de aplicação, sendo aplicáveis a diversos segmentos. Podem ser derivadas tanto de petróleo, como de fontes renováveis como óleos vegetais (SILVA, 2003).

3.5.2.1 *Adesivo poliuretano bicomponente*

Os adesivos poliuretanos de dois componentes consistem tipicamente em um pré-polímero que é curado com um polioliol e são amplamente utilizados onde as velocidades de cura rápidas são críticas, como nas linhas de montagem. Podem ser 100% sólidos ou solventes. Uma vez que os dois componentes se curarão rapidamente quando misturados, eles devem ser mantidos separados e após a mistura, a aplicação deve ser imediata. A mistura eficiente dos dois componentes é essencial para a reação completa atingindo as propriedades adesivas projetadas (LAY; CRANLEY 2003).

Segundo Vilar (2004) os sistemas de bicomponentes apresentam cura rápida e menor custo, todavia sua cura não será completa se não houver mistura adequada dos dois componentes. Outra vantagem apresentada é que a relação entre os componentes pode ser ajustada variando suas propriedades.

3.5.2.1.1 Adesivo poliuretano bicomponente de mamona (PU-Mamona)

Seguindo a tendência global da procura por polióis obtidos de fontes renováveis, como os à base de óleos naturais como substituição de matérias-primas de origem petroquímica, pode-se destacar o óleo de mamona, obtido pela prensagem das sementes ou por extração com solvente (VILAR, 2004).

A mamona (*Ricinus communis*), denominada internacionalmente como "Castor Oil", é uma planta da família das *Euforbiáceas*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, muito abundante no Brasil, da qual é extraído o óleo de mamona, comumente chamado de óleo de rícino, a partir do qual sintetizam-se polióis e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a um poliuretano cuja mistura leva à reação de polimerização. O custo econômico da utilização da resina poliuretana à base de óleo de mamona varia de acordo com a porcentagem de poliól e de pré-polímero utilizada, sendo que o pré-polímero representa 80% do custo da resina, e também em relação à demanda, que quanto maior, menores são os custos de produção (JOSÉ, 2006).

3.6 CONSIDERAÇÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente verificam-se diversos estudos utilizando com sucesso resíduos de origem florestal e agroindustrial para a produção de painéis, como o desenvolvido por Hazrati-behnagh et al. (2015), cujo objetivo foi investigar as propriedades mecânicas, térmicas e isolantes dos painéis de partículas produzidas a partir de resíduos de cana-de-açúcar e de madeiras diversas, aglomeradas com resina ureia-formaldeído e melanina-ureia-formaldeído, onde conseguiram comprovar a característica sustentável dos painéis uma vez que foram produzidos com matérias-primas residuais, naturais e biodegradáveis, que comprovaram ser ecologicamente corretos e podem ser vistos como alternativa adequada aos produtos comerciais para aplicações termo acústicas em construções verdes.

Belini et al. (2011), tiveram o propósito de analisar a viabilidade e avaliar as propriedades de painéis fabricados a partir de diferentes porcentagens de bagaço de

cana-de-açúcar combinado com fibras de eucalipto, utilizando adesivo ureia formaldeído na proporção de 14% com adição de 08% de emulsão de parafina. Os painéis produzidos com até 75% de bagaço apresentaram valores médios de propriedades mecânicas que atendem às especificações atuais, demonstrando a viabilidade da utilização de partículas de bagaço de cana-de-açúcar para produzir painéis misturados com fibras de eucalipto, onde o melhor tratamento foi de 50% de fibras de eucalipto com 50% de bagaço, o qual atingiu 760kg/m³ de densidade média, MOR de 29,4 MPa, MOE de 3100 MPa, TP de 0,80 MPa e Inchamento de 8,6%.

Barros Filho et al. (2011) produziram nove diferentes tipos de painéis de aglomerados utilizando bagaço de cana-de-açúcar, variando a composição da mistura com partículas de *Eucalyptus spp* e *Pinnus spp*, todos com 9% de mistura de resina, com e sem parafina na formulação, sob um ciclo de prensagem de 4,0 MPa/cm² e temperatura de 160 °C. Sob testes físicos, os painéis cumpriram com o padrão americano CS 236-66 para aglomerados comerciais de densidade média e, na maioria dos casos, os resultados obtidos foram inferiores aos levantados na literatura. Em testes mecânicos, esse mesmo padrão não foi cumprido e, na maioria dos casos, os resultados foram próximos ou superiores aos obtidos na literatura.

Dias (2008), analisou o desempenho de painéis aglomerados empregando-se adesivo poliuretano à base de mamona para aglomeração das partículas, prensados à temperatura entre 60 e 90 °C, com e sem a adição de parafina, utilizando as espécies *Eucalipytus grandis*, *Eucalyptus urophilla* e *Pinus elliottii*. A avaliação do desempenho das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foi efetuada segundo os requisitos normativos da ABNT e os resultados foram comparados com valores de propriedades de painéis exigidos por normas brasileiras e americanas, e com valores encontrados na literatura, caracterizando a resina à base de mamona como promissora na aplicação destes produtos.

Fiorelli et al. (2014a) caracterizaram as propriedades anatômicas e físico-químicas das fibras naturais residuais (bagaço de cana-de-açúcar, fibras de coco e casca de amendoim) para avaliar o potencial de uso das mesmas na produção de aglomerados, correlacionando os resultados com os de *Pinus sp*, madeira utilizada comercialmente na produção de aglomerados. Para tanto, foram produzidos painéis empregando-se adesivo poliuretano à base de óleo de mamona, densidade aparente

de cerca de 800 kg/m³, pressão de 5 MPa durante 10 min e temperatura de 100 °C. Foram obtidos resultados análogos para densidade e pH das fibras lignocelulósicas residuais e *Pinus sp*, assim como quantidades semelhantes de celulose e lignina. Os painéis produzidos com fibras lignocelulósicas residuais apresentam propriedades físico-mecânicas similares às de *Pinus sp*, demonstrando assim seu potencial de utilização.

Santos et al. (2014) efetuaram uma avaliação do ciclo de vida da produção de painéis aglomerados de resíduos de cana-de-açúcar e aparas de madeira de *Pinus elliotii* ligados com adesivo UF seguindo as diretrizes metodológicas da ISO 14040. Os resultados mostram que os painéis de aglomerados feitos de bagaço de cana tinham os menores impactos em relação ao consumo de recursos não renováveis devido à distância do transporte, o que indica que a localização das matérias-primas e do local de produção deve ser considerada para reduzir os impactos ambientais. Além disso, descobriu-se que o principal impacto ambiental foi o uso do adesivo UF, responsável pela contaminação de aproximadamente 7800000 m³ de ar por m² de aglomerado produzido, sendo o fator com maior influência no potencial de toxicidade humana. Desta forma, reitera-se a importância em se efetuar pesquisas no sentido de encontrar resinas alternativas mais ecológicas que possam ser utilizados em escala industrial para a fabricação de painéis, com preços acessíveis e que levem a propriedades físicas e mecânicas semelhantes às de aglomerados comerciais.

O objetivo do estudo de Garzón-Barrero et al. (2016) foi avaliar o desempenho de um painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com resina poliuretana de óleo de mamona em comparação à um painel de partículas de madeira de média densidade (MDP) comercial após 12 meses de exposição a intemperismo natural e por um teste acelerado de crescimento de mofo em condições laboratoriais. Para ambos os materiais, o revestimento de superfície com resina de poliuretano bicomponente à base de óleo de mamona foi menos colonizado do que os materiais não revestidos, independentemente do tipo de aglomerado. Adicionalmente a isto, o ensaio de flexão mostrou que os painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar apresentam melhor desempenho do módulo de elasticidade (7,7 MPa) em comparação com os painéis comerciais de partículas de madeira (3,6 MPa). Os resultados obtidos possibilitaram inferir que o revestimento de superfície com resina de poliuretana à base de mamona reduz o crescimento de mofo, portanto, esses

resultados suportam o uso potencial dessa resina alternativa tanto como aglutinante quanto como revestimento superficial para painéis.

Motivados pela busca de matérias-primas alternativas, Dias e Lahr (2004) utilizaram o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona como alternativa ambientalmente correta e menos tóxica ao homem para produzir compensados com camadas de *Eucalyptus grandis* em alternativa aos adesivos de ureia-formaldeído (consideravelmente tóxicos e prejudiciais ao meio ambiente) e fenol-formaldeído (alto custo). Os resultados dos testes efetuados apresentaram valores superiores aos reportados na literatura e recomendados pela ABNT, indicando que o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona é um adesivo promissor.

Campos e Lahr (2004) produziram painéis com fibras de eucalipto e adesivo poliuretano à base de mamona utilizando 3% de teor de umidade das fibras, temperatura de 160 °C, pressão de prensagem máxima de 3 MPa e os ensaios de caracterização física e mecânica foram realizados de acordo com as Normas Europeias. Desta forma, atestaram através dos resultados obtidos que o MDF produzido apresentou resultados bastante satisfatórios, concluindo que novos materiais podem ser propostos para uso futuro na fabricação de painéis de madeira, visando particularmente a utilização de resíduos de processamento de madeira e adesivos obtidos a partir de fontes naturais renováveis, incentivando assim a realização de pesquisas relacionadas ao tema.

Fiorelli et al. (2013) produziram painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar em dois comprimentos diferentes de fibra (5 mm e 8 mm) utilizando o adesivo PU-Mamona. Foram avaliadas as propriedades físicas e mecânicas de acordo com os parâmetros da Norma brasileira NBR 14810. Os resultados indicaram que o comprimento de fibra de 8 mm apresentou propriedades mecânicas satisfatórias para uso na construção civil e agrícola, bem como em residências, construções agrícolas e aplicações estruturais. O teste de envelhecimento acelerado indicou que os aglomerados preparados neste estudo, revestidos ou não de impermeabilizante, são adequados para uso em ambientes com baixa exposição à umidade. Uma análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) indicou que o adesivo de poliuretano de dois componentes à base de óleo de mamona preenche os espaços interpartículas de

forma homogênea quando essas partículas têm 8 mm de comprimento, o que contribuiu para melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Akinyemi, Afolayan e Oluwatobi (2016) desenvolveram um aglomerado de espiga de milho triturada e serragem usando ureia-formaldeído como aglutinante, na proporção de 30% do volume de partículas. Os resultados dos painéis produzidos apresentaram propriedades físicas favoráveis para usos internos, não sendo recomendados para fins de suporte de carga devido a propriedades mecânicas baixas, que melhoraram à medida que a composição de espiga de milho triturada aumentou, mas ainda assim não satisfaz aos requisitos da Norma Europeia.

Keskin, Kucuktuvek e Guru (2015) estudaram o potencial de utilização de partículas de casca da papoula (*Papaver somniferum Linnaeus*) com madeira de pinus usando adesivo de ureia-formaldeído na fabricação de painéis de madeira. Os aglomerados fabricados usando até 25% de casca de papoula atingiram requisitos físicos e mecânicos compatíveis com a Norma Europeia. Além disso, partículas de casca de papoula reduziram a emissão de formaldeído e aumentaram a propriedade retardante de fogo para os painéis de partículas fabricados.

Dias et al. (2005b) estudaram a relação entre a taxa de compactação e as propriedades de resistência à tração perpendicular, módulo de resistência à flexão estática, módulo de elasticidade, inchamento e absorção de água dos aglomerados produzidos utilizando *Pinus elliotti* e adesivo ureia-formaldeído. A avaliação das propriedades foi efetuada de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810, a relação foi estabelecida por uma regressão linear múltipla e os modelos estatísticos mais apropriados foram determinados e constatou-se que os modelos estimados indicaram efeitos estatisticamente significativos na absorção de água em 2 horas e MOR na taxa de compactação dos aglomerados.

Jiang et al. (2017) investigaram as características de emissão de formaldeído e outros compostos orgânicos voláteis (COV) de painéis de partículas em câmaras ambientais seladas ou ventiladas em diferentes temperaturas, com foco na emissão de compostos odoríferos, visto que o mobiliário e os materiais de construção são as principais fontes poluição do ar no interior dos ambientes. Os autores concluíram que o tratamento térmico a uma temperatura moderada (por exemplo, 50 ou 60 °C) é um método eficaz para reduzir as emissões de odores do painel de partículas e,

potencialmente, de outros materiais compósitos à base de madeira. Estes resultados são úteis para o controle de problemas de odores provenientes de móveis causadores de poluição.

Oliveira *et al.* (2016) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis MDP (*Medium density particleboard*) comerciais produzidos com eucalipto e pinus por duas empresas brasileiras e um painel MDP industrial feito a partir de bagaço de cana-de-açúcar produzido na China, para investigar a possibilidade de utilização para a produção de móveis. Foram testadas as características físicas de absorção de água e inchamento, teor de umidade e densidade e as propriedades mecânicas foram caracterizadas por ensaios de flexão (módulo de elasticidade e ruptura), compressão (módulo de ruptura de elasticidade), colagem interna, arrancamento de parafuso e dureza Janka. Deste modo concluíram que os painéis feitos com bagaço de cana-de-açúcar mostraram propriedades físicas e mecânicas comparáveis ou superiores às de eucalipto e pinus.

De acordo com Carvalho *et al.* (2013) a substituição da madeira pelo bagaço minimiza os impactos ambientais e contribui para a geração de um novo produto com menor densidade e menor condutividade térmica, o que pode melhorar o condicionamento térmico dos edifícios. Visto isto estudaram o fluxo de calor através de painéis de aglomerado feitos de bagaço de cana e compararam esses painéis de aglomerado com painéis similares de pinus e eucalipto e constataram que o fluxo de calor durante o aquecimento dos painéis aglomerados é menor para os painéis feitos de bagaço de cana e o acúmulo de calor promovido por esse painel é maior do que os similares de Pinus e Eucalipto. Portanto, este produto pode ser adequado para ser usado como revestimentos, entre paredes, divisórias e outras aplicações.

Varanda *et al.* (2013) objetivando reduzir a demanda de madeira na produção de painéis de partículas produziram e avaliaram painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* e casca de aveia (*Avena sativa*), aglomerados sob pressão com adesivo poliuretano à base de óleo de mamona na proporção de 10% em relação à massa seca das partículas. O desempenho físico-mecânico dos painéis produzidos foi avaliado com base nas normas ABNT NBR 14810:2006 e BS EN 312:2003. Pela análise de variância (ANOVA), a fração de partículas de *Eucalyptus grandis* foi

significativa apenas no MOR e painéis produzidos com 100% de casca de aveia apresentaram maior valor de MOR.

Melo *et al.* (2014) fabricaram painéis com madeira (*Eucalyptus grandis*), bambu (*Bambusa vulgaris*) e/ou casca de arroz (*Oryza sativa*), combinados ou não, nas seguintes proporções: 100% de madeira; 100% de bambu; Arroz 100%; 50% de madeira e 50% de bambu; 50% de madeira e 50% de casca de arroz. Para caracterizar os aglomerados manufaturados foram avaliadas propriedades físicas (densidade, teor de umidade, absorção de água e inchamento da espessura) e propriedades mecânicas (flexão estática, adesão interna e arrancamento de parafuso). Os resultados indicaram que o uso de casca de arroz causou redução na qualidade do aglomerado, que os aglomerados fabricados com bambu apresentaram melhor qualidade do que aqueles que utilizam casca de arroz como matéria-prima e que para a maioria dos parâmetros os painéis de partículas fabricados exclusivamente com partículas de madeira apresentaram desempenho semelhante aos painéis de partículas de bambu e madeira-bambu.

Destacam-se também as pesquisas de autores como Iwakiri *et al.* (2000, 2005, 2012), Fiorelli *et al.* (2011, 2013, 2014b), Mendes *et al.* (2010), Lahr (2008, 2012) os quais também obtiveram êxito na produção de painéis aglomerados a partir de materiais alternativos.

Por fim, pode-se destacar a originalidade desta pesquisa, visto que não foram encontradas na literatura outras pesquisas que utilizassem a associação de partículas oriundas de resíduos da cana-de-açúcar e do descascamento de eucalipto proveniente da produção de celulose, empregando e comparando os adesivos poliuretano à base de óleo de mamona e ureia-formaldeído na produção de painéis aglomerados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

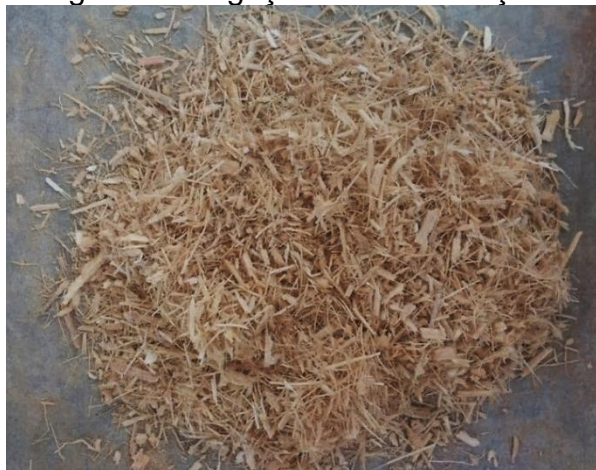
4.1 MATERIAIS

Para confecção dos painéis foram utilizadas partículas provenientes de bagaço de cana-de-açúcar do gênero *Saccharum officinarum* L. em associação a partículas provenientes do descascamento de eucaliptos dos gêneros *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*, e para aglutinação das partículas utilizou-se os adesivos poliuretano derivado de óleo de mamona (PU-Mamona) e ureia-formaldeído (UF). A opção de se utilizar partículas provenientes de resíduos industriais e agroindustriais foi em função da grande quantidade disponível destes e pela possibilidade de sua valorização como matéria-prima.

4.1.1 Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar utilizado, ilustrado na Figura 9, foi obtido através de doação pela Usina de Açúcar e Álcool Vale do Paraná, localizada na região Noroeste Paulista.

Figura 9 - Bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Acervo da autora

4.1.2 Resíduo de eucalipto

O Resíduo de eucalipto utilizado, ilustrado na Figura 10, foi doado pela Indústria de Papel e Celulose Eldorado Brasil, localizada no município de Três Lagoas - MS, sendo constituído de três espécies distintas: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus camaldulensis*.

Figura 10 - Partículas de Eucalipto



Fonte: Acervo da autora

O material foi coletado no depósito da empresa e trata-se de cavacos, considerados resíduos do descascamento das toras de eucalipto da indústria de papel e celulose. Estes cavacos se constituem de partes do súber, não utilizado pela indústria, tornando-se assim um resíduo que se acumula em grandes volumes, armazenado a céu aberto antes de ser utilizado para a produção de energia na própria empresa.

Segundo dados do Relatório de Sustentabilidade da Eldorado Brasil, Brasil (2016), a empresa possui área florestal de 239 mil hectares de eucalipto no Mato Grosso do Sul, com Certificação pelo Forest Stewardship Council® e pelo Programa Brasileiro de Certificação Florestal (CERFLOR®), que em 2014 apresentou produtividade de 45 m³ de madeira por hectare/ano. A obtenção da matéria-prima para produção da celulose se inicia com o corte da madeira, descarte dos galhos e da casca, que posteriormente são utilizados para adubação do solo ou transformados em cavacos para produção de energia na caldeira de biomassa instalada na fábrica de Três Lagoas.

4.1.3 Adesivo Poliuretano de mamona (PU-Mamona)

Um dos adesivos utilizados para aglutinar as partículas foi o poliuretano bicomponente à base de óleo de mamona. Este produto foi adquirido da empresa Plural Química - Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda, com sede em São Carlos - SP. A Figura 11 ilustra aspectos dos componentes do adesivo, o pré-polímero (componente marrom escuro) e o polioliol (conteúdo claro), que neste trabalho foram utilizados na proporção de 1:1.

Figura 11 - Adesivo PU-Mamona



Fonte: Acervo da autora

De acordo com a Plural Química o polioliol possui aspecto líquido amarelado, viscosidade Brookfield de 600 a 950 cP, densidade de 0,9 a 1,0 g.cm⁻³, Cor Lovbond 40 Amarelo e 4 Vermelho, umidade máxima de 0,5% e acidez máxima de 1,0%. O pré-polímero possui aspecto líquido, cor marrom escura, odor suave característico, densidade de 1,24 g.cm⁻³ a 20 °C, é insolúvel em água, possui ponto de ebulição de 170 °C, viscosidade de 300 MPa à 20 °C, pressão de vapor de 1 mbar à 20 °C, Flash point: > 250 °C e Temperatura de ignição > 500 °C.

4.1.4 Resina ureia-formaldeído (CASCAMITE)

A resina Cascamite MDF 1711, utilizada para a confecção dos painéis de partículas foi obtida através de doação pela empresa Hexion e se caracteriza por ser

termofixa à base de ureia-formol, em solução aquosa, desenvolvida para a fabricação de painéis de fibras de média densidade, conhecidos popularmente como MDF (*Medium Density Particleboard*).

Segundo informações do fabricante, a resina UF pode ser formulada utilizando-se catalisadores, parafina e outros aditivos. A Tabela 3 apresenta as especificações técnicas da resina.

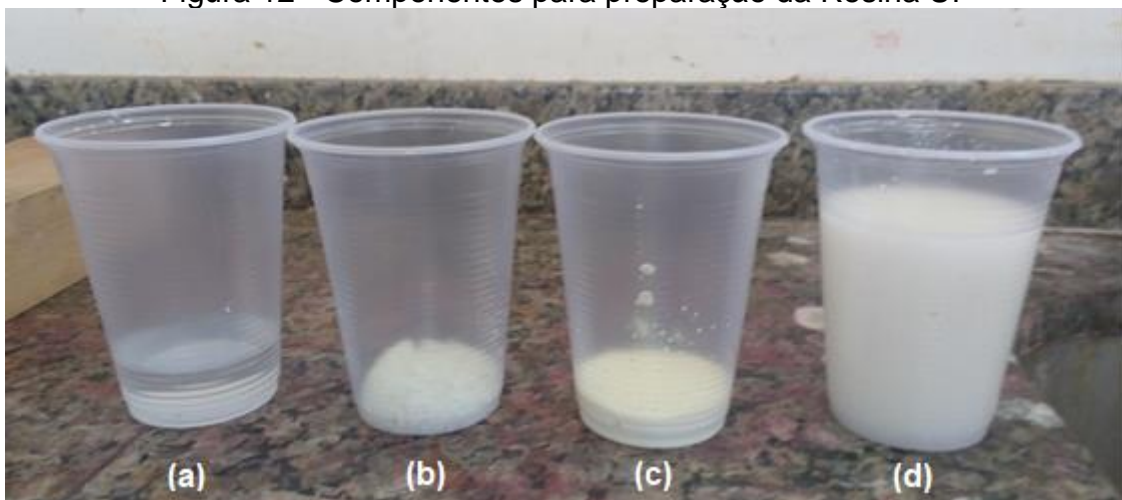
Tabela 3 - Especificações do Produto CASCAMITE MDF 1711

Propriedade	Método	Unidade	LIE - LSE
Aspecto	IT - 9101	Visual	Líquido branco a levemente amarelado
pH	IT - 1601		7,6 - 8,0
Viscosidade Brookfield 2/60	IT - 4011	cP	100 - 200
Densidade	IT - 1974	g/cm ³	1,2484 - 1,2685
Gel Time	IT - 1976	s	40 - 80
Sólidos por IR	IT - 1973	%	58,0 - 62,0

Fonte: Hexion (2017)

Para a fabricação dos painéis, a resina UF (Figura 12 - d) foi formulada utilizando-se água (Figura 12 - a), catalisador de sulfato de amônio (Figura 12 - b) e emulsão de parafina (Figura 12 - c), seguindo os mesmos procedimentos adotados por Eleoterio (2000). A emulsão de parafina utilizada foi fornecida através de doação pela empresa Isogama Indústria Química - Unidade PR.

Figura 12 - Componentes para preparação da Resina UF



Fonte: Acervo da autora

4.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A proposta metodológica adotada para fabricação dos painéis de partículas com misturas de partículas de resíduos lignocelulósicos constituiu-se de um delineamento experimental dividido em duas etapas, com a finalidade de verificar inicialmente os resultados obtidos nos painéis exploratórios (primeira etapa), e após isto, efetuar ajustes nos parâmetros (segunda etapa) para fabricação de novos painéis (principais) com base nos resultados obtidos.

Em todas as etapas os painéis foram ensaiados e avaliados em relação à suas propriedades físicas e mecânicas segundo as prescrições metodológicas dos documentos normativos brasileiros NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a e b).

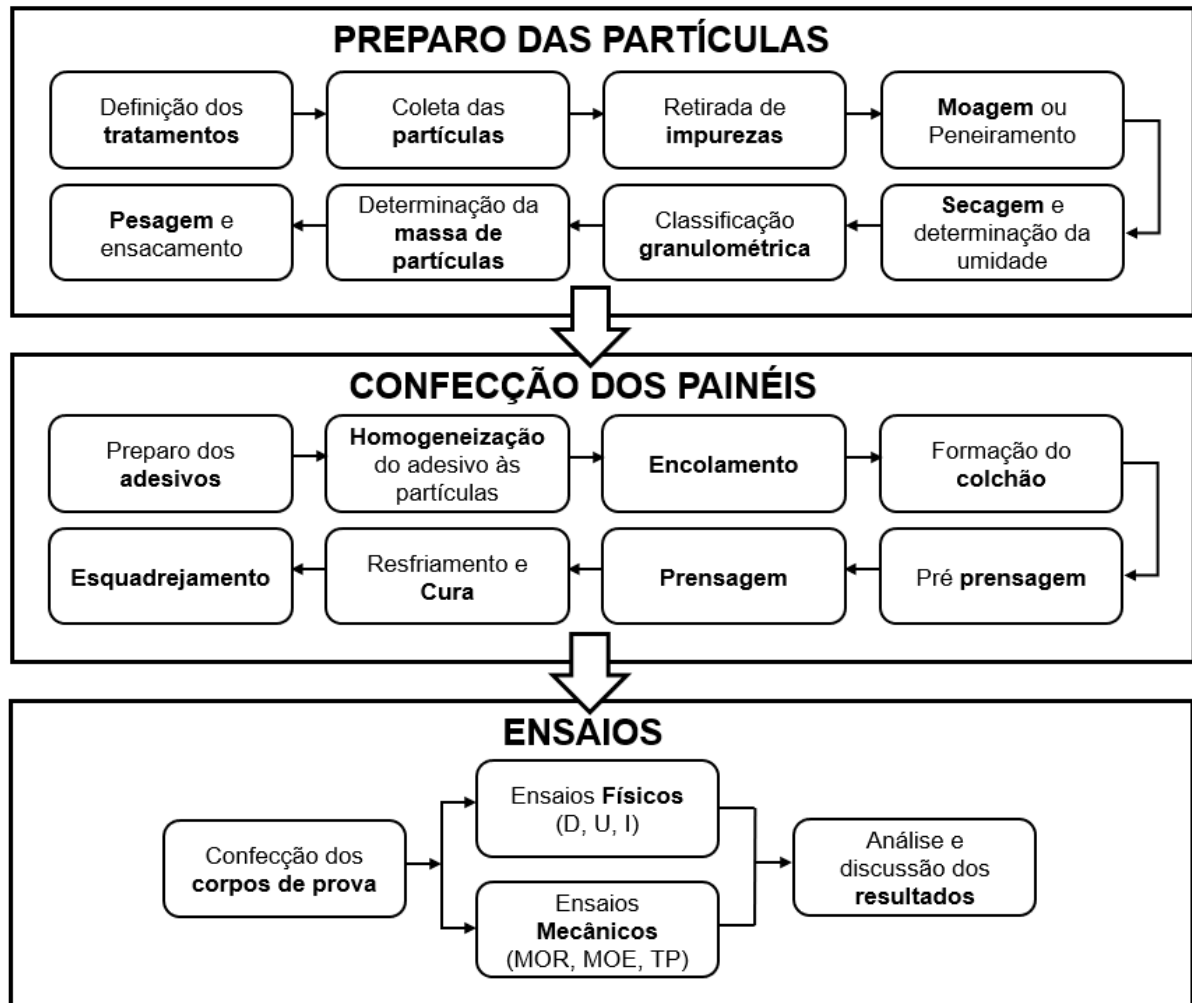
Para a análise das propriedades físicas dos painéis foram avaliadas a Densidade (D), o Teor de umidade (U), e o Inchamento após 24h (I). Para a análise das propriedades mecânicas dos painéis foram avaliadas a flexão estática para determinação do Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR) e do Módulo de Elasticidade (MOE), bem como a Resistência à Tração Perpendicular ou Adesão Interna (TP).

Na primeira etapa a produção dos painéis experimentais foi efetuada no Laboratório de Painéis e Secagem da Madeira no Campus Experimental da Unesp de Itapeva e os ensaios foram realizados nos Laboratórios da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira FEIS – Unesp.

Na segunda etapa a produção dos painéis principais e os ensaios para determinação das propriedades mecânicas foram efetuados no Campus da Faculdade de Engenharia de Bauru (Unesp), enquanto que os ensaios para determinação das propriedades físicas foram realizados nos Laboratórios da Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira FEIS – Unesp.

A Figura 13 apresenta o Fluxograma dos procedimentos adotados para execução desta pesquisa.

Figura 13 - Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: Acervo da autora

4.2.1 Definição dos tratamentos

4.2.1.1 Definição dos tratamentos - Primeira etapa

Para a execução da primeira etapa (painéis exploratórios), inicialmente foram determinados quatro tratamentos para confecção dos painéis exploratórios, apresentados na Tabela 4, onde as porcentagens entre as misturas de partículas foram fixadas com valores de $50 \pm 10\%$ (em massa) entre resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 4 - Tratamentos propostos para a confecção dos painéis exploratórios

Tratamento	Eucalipto (%)	Bagaço de cana (%)	Resina
T _{1.1}	40	60	UF-CASCAMITE
T _{2.1}	60	40	UF-CASCAMITE
T _{3.1}	40	60	PU-MAMONA
T _{4.1}	60	40	PU-MAMONA

* Proporções em massa.

Fonte: Acervo da autora

As partículas para confecção dos painéis foram processadas em moinho de facas, utilizadas com 10% de umidade e 10% de resina em relação à massa de partículas.

4.2.1.2 Definição dos tratamentos - Segunda etapa

Após a análise dos resultados obtidos com os painéis produzidos na primeira etapa, procedeu-se então a confecção de novos painéis de partículas, adotando-se ajustes nos parâmetros de confecção com o objetivo de melhorar os resultados obtidos, principalmente com relação ao teor de umidade das partículas.

Desta maneira, o teor de umidade das partículas dos painéis produzidos com resina UF foi ajustado para aproximadamente 3%, com o objetivo de melhorar a eficiência da resina UF com relação à adesão interna e, conseqüentemente, diminuir a formação de bolhas, devido ao excesso de água contida na mistura quando as partículas estavam com 10% de umidade. Com relação à confecção dos painéis utilizando-se resina PU-Mamona, as partículas de madeira foram mantidas com 10% de umidade.

Os painéis definitivos produzidos na segunda etapa da pesquisa foram fabricados apenas para os tratamentos com 60% de madeira e 40% de bagaço de cana-de-açúcar (em massa), pois chegou-se à conclusão durante a análise dos painéis exploratórios (primeira etapa) que, quanto a maior porcentagem de madeira na mistura, melhores foram resultados alcançados, e manteve-se a porcentagem de 10% de aglutinante em relação à massa das partículas.

A Tabela 5 apresenta a proposta de tratamento para a segunda etapa, considerando-se a confecção de 8 painéis, 4 para cada tratamento.

Tabela 5 - Tratamentos propostos para a confecção dos novos painéis

Tratamento	Eucalipto (%)	Bagaço de cana (%)	Resina
T _{2.2}	60	40	UF-CASCAMITE
T _{4.2}	60	40	PU-MAMONA

* Proporções em massa.

Fonte: Acervo da autora

Considerando-se os resultados dos ensaios exploratórios para determinação da composição granulométrica das misturas, verificou-se baixo percentual de partículas com dimensões acima de 4mm e portanto, foram realizados ajustes para propiciar à mistura uma composição granulométrica com partículas mais longas, na faixa de 6 a 4mm, com o objetivo de melhorar os resultados de Resistência à Flexão Estática (MOR) e do Módulo de Elasticidade (MOE).

Conseqüentemente, na segunda etapa optou-se por não efetuar o processamento das partículas de bagaço de cana-de-açúcar no moinho de facas, apenas efetuar o peneiramento do bagaço de cana-de-açúcar no agitador vibratório de peneiras, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14 - Agitador de peneiras



Fonte: Acervo da autora

4.2.2 Preparo das partículas

Inicialmente o bagaço de cana foi seco ao ar objetivando-se eliminar o excesso de umidade conforme ilustrado na Figura 15 e para o preparo das partículas foram realizados dois procedimentos distintos.

Figura 15 - Secagem do bagaço de cana



Fonte: Acervo da autora

Na primeira etapa (painéis exploratórios), tanto a madeira como o bagaço de cana foram processados em moinho de facas e para o bagaço de cana (antes de ser triturado) foi realizada uma separação manual de impurezas. Este procedimento objetivou propiciar maior desempenho do moinho de facas, evitar a geração excessiva de calor no interior do painel, evitar a incineração das partículas, a formação de bolhas durante a prensagem e a consequente delaminação do painel. A Figura 16 ilustra tipos de impurezas retiradas do bagaço de cana-de-açúcar.

Figura 16 - Impurezas retiradas do bagaço de cana



Fonte: Acervo da autora

Na segunda etapa (painéis principais), considerando-se a análise da composição granulométrica determinada, conforme descrito no item 4.2.3, o bagaço de cana não foi triturado em moinho, sendo submetido diretamente ao peneiramento no agitador de peneiras conforme ilustrado na Figura 14, em seguida, as partículas foram secas em estufa à uma temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, até obtenção da umidade desejada.

Para confecção dos painéis da primeira etapa as partículas de todos os tratamentos foram secas ao ar até atingiram umidade de aproximadamente 10%. Entretanto, na segunda etapa, para as misturas com UF, as partículas foram secas em estufa até atingirem umidade de aproximadamente 3%. Contudo, as partículas das misturas com PU-Mamona foram secas apenas expostas ao ar livre até atingirem umidade de aproximadamente 10%.

Para a determinação do teor de umidade das partículas foram realizados ensaios baseados na NBR 9939 (ABNT, 1987). Nestes ensaios foram utilizadas três amostras dos materiais (Figura 17a), que foram pesadas e levadas à estufa expostas à uma temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. A aferição da umidade foi efetuada em intervalos sucessivos através da pesagem das cápsulas cheias de partículas antes e após o período em estufa, que deram origem ao cálculo do teor de umidade. O procedimento foi repetido até que a umidade final do material após o período em estufa (Figura 17b) atingisse o valor estipulado.

Figura 17 - Amostras para determinação do Teor de umidade das partículas



(a) Amostras do material.



(b) Estufa.

Fonte: Acervo da autora

4.2.3 Ensaio para determinação da composição granulométrica

Os ensaios para determinação da composição granulométrica das misturas foram realizados com base na NBR NM 248 (ABNT, 2003). É válido ressaltar que este procedimento se constitui de um método de ensaio que prescreve a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e grãos para concreto, entretanto, foi utilizado para as partículas de madeira de forma adaptada.

O objetivo do ensaio constituiu-se em calcular a porcentagem da massa retida e acumulada em cada peneira e determinar o módulo de finura das partículas. Os ensaios foram realizados com amostras com massa de aproximadamente 100g de partículas, que foram classificadas através da porcentagem retida em cada peneira do conjunto, colocadas por ordem decrescente de abertura das malhas. O agitador vibratório de peneiras, ilustrado na Figura 18, foi ajustado para uma intensidade de vibração no nível 5 e tempo de 15 minutos.

Figura 18 - Agitador de peneiras. Determinação da composição granulométrica



Fonte: Acervo da autora

Os resultados obtidos possibilitaram inferir que as dimensões das partículas estavam adequadas para confecção dos painéis, visto que estudos desenvolvidos por Pierre (2010) indicaram que a geometria das partículas exerce grande influência na produção dos painéis e em suas propriedades mecânicas.

4.2.4 Cálculo da massa de partículas dos painéis

O cálculo da massa de partículas dos painéis foi efetuado em função da densidade nominal do painel, previamente definida através da Equação 1, determinando-se assim a massa de partículas de cada material para os tratamentos propostos. O volume foi adotado em função das dimensões da formadora de colchão de 35x35x1 cm (1225 cm³).

$$D = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Onde:

D é a densidade nominal dos painéis (g.cm⁻³);
 m é a massa de partículas para confecção dos painéis (g); e
 v é o volume painéis (cm³).

Para a primeira etapa da pesquisa adotou-se uma densidade nominal de 0,80 g.cm⁻³. Contudo, devido ao fato de que a densidade final dos painéis superou a estabelecida no intervalo determinado pelo instrumento normativo, reduziu-se a densidade nominal para 0,67 g.cm⁻³ com o objetivo de reduzir a densidade final dos painéis, enquanto manteve-se o volume com 35x35x1 cm em função das dimensões da formadora de colchão. Desta forma, a massa total de partículas utilizada por painel, foi reduzida de 980 g para 820 g.

Após a definição da massa e pesagem, as partículas foram separadas de acordo com as quantidades estabelecidas em cada tratamento, embaladas e identificadas para posterior confecção dos painéis.

4.2.5 Confecção dos painéis

Para confecção dos painéis utilizaram-se dois tipos de aglutinantes, os adesivos poliuretano bicomponente derivado de óleo de mamona (PU-Mamona) e a

ureia-formaldeído (UF) Cascamite, ambos na proporção de 10% de adesivo em relação à massa seca das partículas.

Com relação ao adesivo PU-Mamona, tomou-se o cuidado de se efetuar o processo de homogeneização prévia considerando-se primeiramente a adição do poliol às partículas e em seguida a adição do pré-polímero. Este procedimento retarda a cura do adesivo possibilitando um melhor encapsulamento das partículas e uma boa homogeneização à mistura, evitando a formação de grumos e a concentrações de adesivo em regiões pontuais do painel.

Para os painéis produzidos com a ureia-formaldeído, adotou-se os procedimentos utilizados por Eleoterio (2000), ou seja, em relação à massa das partículas, acrescentou-se emulsão de parafina na proporção de 1%, com o objetivo de reduzir a higroscopicidade final dos painéis. Foram adicionados à mistura também, sulfato de amônia na dosagem de 2,5% de sólidos de catalizador em relação ao teor de sólidos da resina e água para promover a dissolução dos materiais e atingir o teor de umidade desejado para o colchão de partículas. Os materiais componentes da resina foram misturados e após completa dissolução, adicionados às partículas.

A adição da resina para homogeneização às partículas foi efetuada em duas etapas: inicialmente de forma manual, conforme ilustrado na Figura 19a, e em seguida, fazendo uso de uma encoladeira de tambor rotacional (Figura 19b) com objetivo de propiciar maior homogeneização.

Figura 19 - Adição e homogeneização da CASCAMITE às partículas



(a) Homogeneização manual

(b) Encoladeira de tambor

Fonte: Acervo da autora

Em seguida preparou-se o colchão de partículas por meio de prensagem a frio, com carga de 5 toneladas utilizando-se uma formadora de colchão com dimensões de 35x35x1 cm, conforme ilustrado na sequência da Figura 20.

Figura 20 - Prensagem do painel



(a) Deposição das partículas na formadora de colchão



(b) Pré-prensagem a frio



(c) Colchão de partículas

Fonte: Acervo da autora

Após preparação do colchão de partículas (Figura 20c), o mesmo foi transportado para a prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão (Figura 21), com pressão aferida de 50 kgf/cm² e temperatura de 100 °C para os tratamentos com PU-Mamona e 130 °C para os tratamentos com UF. A prensagem foi realizada durante 10 minutos, com tempo inicial de 3 minutos e intervalos para alívio de pressão por 30 segundos, visando evitar a concentração de gases e consequentemente formação de bolhas no interior dos painéis.

Figura 21 - Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão



Fonte: Acervo da autora

Para a realização dos ensaios exploratórios (primeira etapa) foram produzidos 3 painéis para cada tratamento (Figura 22). Para confecção dos painéis com ajustes dos parâmetros (segunda etapa), foram produzidos 4 painéis para cada tratamento.

Figura 22 - Painéis UF após prensagem à quente



Fonte: Acervo da autora

Após o esquadrejamento dos painéis, foram retirados dez corpos de prova (cp) por tipo de ensaio, para avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

4.2.6 Execução dos ensaios

Neste item estão descritos os procedimentos de ensaios realizados de acordo com os documentos normativos NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a e b) para avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

4.2.6.1 Ensaios físicos

Para a análise das propriedades físicas dos painéis, foram avaliadas a Densidade (D), o Teor de umidade (U), e o Inchamento após 24h (I).

4.2.6.1.1 Densidade (D)

Para a determinação da densidade dos painéis foram utilizados dez corpos de prova nas dimensões de 50 x 50mm, que tiveram sua espessura aferida no ponto de intersecção das suas diagonais fazendo uso de um micrômetro (Figura 23a) e as demais medidas foram realizadas utilizando-se um paquímetro (Figura 23b), de acordo com o esquema proposto pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), mostrado na figura 24.

Figura 23 - Aferição das dimensões do corpo de prova

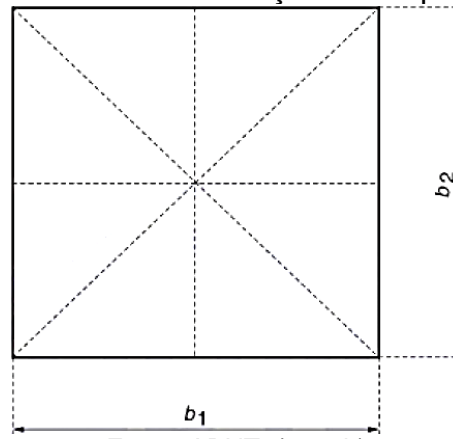


(a) Medição micrômetro

(b) Medição paquímetro

Fonte: Acervo da autora

Figura 24 - Pontos de medição no corpo de prova



Com base nas dimensões, calcularam-se os volumes dos corpos de prova com a Equação 2. Utilizado uma balança analítica com resolução de 0,01 g determinou-se as respectivas massas e em seguida, calculou-se a densidade aparente de acordo com a Equação 3. A Equação 4 foi utilizada para determinar a variação percentual da densidade aparente dos corpos de prova.

$$V = b1 \times b2 \times e \quad (2)$$

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (3)$$

$$D \% = \frac{(D - Dm\u00e9dia)}{Dm\u00e9dia} \times 100 \quad (4)$$

Onde:

- D é a densidade do corpo de prova (kg.m^{-3});
- $Dm\u00e9dia$ é a densidade média dos corpos de prova (kg.m^{-3});
- $D\%$ é a variação percentual da densidade (%);
- M é a massa do corpo de prova (g);
- V é o volume do corpo de prova (mm^3);
- $b1$ e $b2$ são as dimensões do corpo de prova (mm); e
- e é a espessura do corpo de prova (mm).

4.2.6.1.2 Teor de umidade (*U*)

Neste ensaio foram utilizados dez corpos de prova para cada tratamento com dimensões a e b de aproximadamente 50 x 50 mm, que inicialmente foram pesados em balança analítica com resolução 0,01 g para aferição da massa, em seguida foram levados para secagem em estufa à temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, e, após 24h, foram pesados novamente para aferição da massa. A Figura 25 ilustra os corpos de prova durante a pesagem.

Figura 25 - Balança analítica



Fonte: Acervo da autora

De posse das massas obtidas com as pesagens, calculou-se o teor de umidade utilizando-se a equação 5.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- U* é o teor umidade das partículas (%);
- MU* é a massa úmida das partículas (g); e
- MS* é a massa seca das partículas (g).

4.2.6.1.3 *Inchamento após 24h (I)*

Nos ensaios para determinação do inchamento após 24h, inicialmente aferiu-se a espessura (E_0) no centro da superfície dos dez corpos de prova no ponto de intersecção das suas diagonais com dimensões de aproximadamente 50 x 50 x 10 mm utilizando-se um micrômetro. Em seguida as amostras foram submersas em água deionizada, conforme ilustrado na Figura 26, e após 24 h aferiu-se novamente a espessura (E_1).

Figura 26 - Ensaio de inchamento após 24h



Fonte: Acervo da autora

Utilizando-se a equação 6 foram obtidos os resultados de inchamento após 24h, em porcentagem.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (6)$$

Onde:

- I é o inchamento em espessura do corpo de prova (%);
- E_1 é a espessura do corpo de prova após o período de imersão (mm); e
- E_0 é a espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

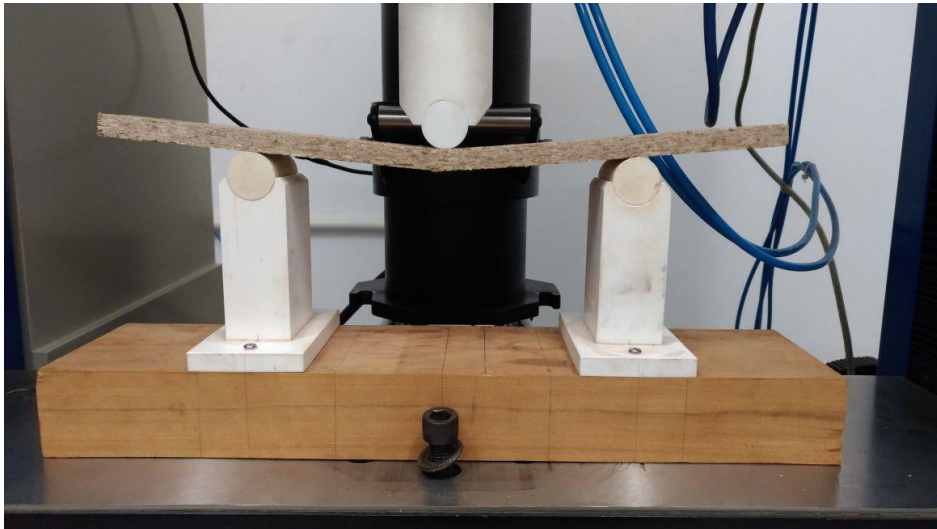
4.2.6.2 *Ensaio mecânicos*

Foram realizados utilizando-se a máquina universal de ensaios EMIC para e realizados os ensaios para determinação do Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR), Módulo de Elasticidade (MOE) e Resistência à Tração Perpendicular ou Adesão Interna (TP).

4.2.6.2.1 *Módulo de resistência à flexão estática (MOR)*

Para a determinação da Resistência à Flexão Estática e do Módulo de Elasticidade foram ensaiados 10 corpos de prova com comprimento de 250 mm, ou seja, 20 vezes a espessura do cp + 50 mm, com largura de aproximadamente 50 mm e espessura de 10 mm. A Figura 27 ilustra a realização de um ensaio para caracterização da resistência à flexão no momento da ruptura do corpo de prova.

Figura 27 - Ensaio da Resistência à Flexão Estática e Módulo de Elasticidade



Fonte: Acervo da autora

Mediu-se a espessura (E) com um micrômetro na intersecção das diagonais e utilizando-se a equação 7 calculou-se o módulo de resistência à flexão (MOR) do corpo de prova.

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

Onde:

- MOR* é o módulo de resistência à flexão elástica (MPa);
P é a carga de ruptura lida no indicador de cargas (N);
D é a distância entre apoios do aparelho (mm);
B é a largura do corpo de prova (mm); e
E é a espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

4.2.6.2.2 Módulo de elasticidade (MOE)

A equação 8 foi utilizada para determinação do módulo de elasticidade (MOE), onde o resultado do ensaio é a média dos resultados dos corpos de prova ensaiados:

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (8)$$

Onde:

- MOE* é o módulo de elasticidade (N/mm²);
P1 é a carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);
D é a distância entre os apoios do aparelho (mm);
d é a deflexão, correspondente à carga P1 (mm);
B é a largura do corpo de prova (mm); e
E é a espessura do corpo de prova (mm).

4.2.6.2.3 Resistência à tração perpendicular (TP)

Para a determinação da Resistência à tração perpendicular, foram utilizados 10 corpos de prova com dimensões aproximadas de 50 x 50 x 10 mm, fixados em suportes metálicos.

Para a etapa exploratória, utilizou-se adesivo instantâneo à base de cianocrilato, do tipo Super Bonder, para fixar os cp nos suportes metálicos. Para a segunda etapa (painéis com ajustes nos parâmetros), utilizou-se adesivo epóxi bicomponente Compound para fixação dos suportes metálicos.

Para garantir uma boa adesão no suporte metálico, os corpos de prova foram comprimidos com pinças durante um período de 24 horas (primeira etapa) e 72 horas (segunda etapa), até a completa cura do adesivo.

A Figura 28 ilustra a sequência com os aspectos gerais dos CP sendo pinçados para fixação do suporte (a), preparados para a realização dos ensaios (b) e a Figura 29 ilustra a execução do ensaio na máquina universal de ensaios EMIC.

Figura 28 - Preparação dos corpos de prova



(a) Fixação dos suportes metálicos com Super Bonder



(b) Corpos de prova preparados para o ensaio de TP

Fonte: Acervo da autora

Figura 29 - Máquina universal realizando o ensaio de TP



Fonte: Acervo da autora

A equação 9 foi utilizada para obtenção dos resultados.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (9)$$

$$S = b1 \times b2 \quad (10)$$

Onde:

TP é a resistência à tração perpendicular (N/mm²);

P é a carga na ruptura (N);

b1 e *b2* são as dimensões do corpo de prova (mm); e

S é a área da superfície do corpo de prova (mm²).

4.2.7 Análise estatística dos resultados

Os dados obtidos para os painéis da segunda etapa desta pesquisa foram avaliados de forma descritiva pelo cálculo das médias, desvios padrão e coeficiente de variação.

Considerando-se que os ensaios foram realizados com base na NBR14810-2 (ABNT, 2013b), definiu-se uma amostragem de 10 corpos de prova por ensaio e a normalidade foi avaliada anteriormente à comparação das amostras (médias).

As análises da normalidade, em todos os casos, foram efetuadas através do método de *Kolmogorov Smirnov*, utilizando o pacote estatístico *Minitab* 18 e como as amostras possuem distribuição normal, utilizou-se o teste *t de Student* para avaliar se as médias são estatisticamente equivalentes, por intermédio dos pacotes *Minitab* 18 e *Past* v.3.20.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS PAINÉIS DA PRIMEIRA ETAPA

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios para a determinação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis dos tratamentos propostos. A avaliação dos resultados foi realizada com base nos valores mínimos propostos pela NBR14810-2 (ABNT, 2013b) e de acordo com a literatura de referência.

5.1 AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (PARTÍCULAS)

O ensaio para determinação da composição granulométrica das partículas possibilitou determinar os Módulos de Finura (MF) das partículas de eucalipto e do bagaço de cana-de-açúcar, iguais a 3,6 e 3,8, respectivamente, conforme pode ser observado nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Composição granulométrica das partículas de Eucalipto

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	0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	0	0,00	0,00		100,00
N.º 8	-	2,38	4,13	4,13	4,13		95,87
N.º 16	-	1,19	59,13	59,13	63,26		36,74
N.º 30	-	0,595	30,24	30,24	93,50		6,50
N.º 50	-	0,297	6,3	6,30	99,80		0,20
N.º 100	-	0,149	0,12	0,12	99,92		0,08
fundo	-	0,075	0,08	0,08		100,00	
Total			100,00	100	3,61		MF = 3,6

Fonte: Acervo da autora

Na Tabela 6 observa-se uma retenção de partículas na faixa de 4 a 2 mm na peneira de n^o 8 com malha 2,38 mm e, uma retenção de partículas de 2 a 1 mm na peneira de n^o 16 com malha de 1,19 mm. Considerando que a massa de partículas ensaiada foi de 100 g, verificou-se que para as peneiras de n^{os} 8 e 16 o peso retido foi de 4,13 g e 59,13 g, respectivamente. Assim, o percentual retido e acumulado nestas duas peneiras foi de 63,26%, com partículas variando entre 4 a 1 mm.

A peneira de nº 30 apresentou um percentual de massa retida acumulada de 93,50%, com massa retida de 30,24 g de partículas na faixa de 1,0 a 0,5 mm e na peneira de nº 50 observa-se massa retida de 6,30 g de partículas variando na faixa de 0,5 a 0,2 mm. As partículas retidas nas peneiras de nº 8 e 16 são as mais significativas para confecção dos painéis, apesar das partículas da peneira de nº 8 se apresentarem com baixos percentuais de massa.

Considerando-se a massa retida na peneira de nº 30, conclui-se que, as dimensões destas partículas certamente influenciaram as propriedades dos painéis. As demais massas retidas de partículas apresentaram percentuais muito baixos e poucos representativos na composição granulométrica da mistura.

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos com o ensaio para determinação da composição granulométrica das partículas provenientes do bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 7 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1	0	0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64	0	0,00		0	100,00
-	2"	50,8	0	0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1	0	0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4	0	0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19	0	0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7	0	0,00		0,00	100,00
3/8"	-	9,51	0	0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3	0	0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	1,81	1,81	1,81		98,19
N.º 8	-	2,38	19,52	19,52	21,33		78,67
N.º 16	-	1,19	47,30	47,30	68,63		31,37
N.º 30	-	0,595	20,41	20,41	89,04		10,96
N.º 50	-	0,297	7,13	7,13	96,16		3,84
N.º 100	-	0,149	3,23	3,23	99,39		0,61
fundo	-	0,075	0,61	0,61		100,00	
Total			100,00	100	3,76		MF = 3,8

Fonte: Acervo da autora

Na Tabela 7 observam-se retenções de partículas na faixa de 6 a 4 mm na peneira de nº 4 com malha 4,76 mm; de partículas de 4 a 2 mm na peneira de nº 8 com malha de 2,38 mm e de 2 a 1 mm na peneira de nº 16. Considerando que a massa de partículas ensaiada foi de 100 g, verificou-se que para as peneiras de nº 4, 8 e 16 o peso retido foi de 1,81; 19,52 e 47,30 g, respectivamente. O que nos leva a concluir que o percentual retido e acumulado nestas três peneiras foi de 68,63% com partículas variando entre 6 a 1 mm.

A peneira de nº 30 apresentou um percentual de massa retida acumulada de 89,04%, com massa retida de 20,41 g de partículas na faixa de 1,0 a 0,5 mm; na peneira de nº 50 observa-se massa retida de 7,13 g de partículas variando na faixa de 0,5 a 0,2 mm e na peneira de nº 100 verifica-se massa retida de 3,23 g de partículas variando na faixa de 0,2 a 0,1 mm.

Considerando-se a massa retida nas peneiras de nº 8 e 16, conclui-se que juntas somam um valor significativo para a mistura e certamente influenciaram nas propriedades dos painéis. A massa retida na peneira de nº 4, apesar de apresentar um valor muito baixo, se constitui de partículas adequadas para confecção dos painéis. As demais peneiras apresentaram percentuais significativos de partículas, entretanto, com partículas que pouco influenciaram as propriedades dos painéis.

A Figura 30 ilustra os aspectos gerais das partículas provenientes do bagaço de cana-de-açúcar processadas em moinho de facas na primeira etapa do trabalho.

Figura 30 - Característica do bagaço de cana-de-açúcar da primeira etapa



Fonte: Acervo da autora

5.2 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE

A partir dos ensaios para a determinação da densidade dos painéis de cada tratamento foi possível calcular a densidade média e o módulo máximo de variação da densidade (D%), conforme apresentado na Tabela 8. Os valores obtidos foram comparados com os propostos pelo documento normativo NBR 14810-1 (ABNT, 2013a) e com a literatura de referência.

Tabela 8 - Densidade dos painéis - Resultados I Etapa

NBR 14810-2:2013	551 a 750 (kg/m³)		
		± 7%	
Tratamento	Densidade	Varição da Densidade	Adesivo
T_{1.1}	724	2	UF
T_{2.1}	762	5	UF
T_{3.1}	864	4	PU
T_{4.1}	875	3	PU

Fonte: Acervo da autora

Saldanha (2004) enfatiza que a densidade é uma importante propriedade dos painéis aglomerados, pois exerce grande influência sobre as propriedades físico-mecânicas destes, devendo ser levada em consideração no processo produtivo.

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013a), define que a densidade para painéis de partículas de média densidade deve se encontrar entre 551 a 750 kg/m³, portanto, neste estudo os valores obtidos para os painéis dos tratamentos T_{2.1}, T_{3.1} e T_{4.1} encontraram-se acima destes valores de referência.

Os resultados obtidos na análise da densidade média aparente dos tratamentos indicaram que os painéis T_{3.1} e T_{4.1} produzidos com PU-Mamona, tiveram densidade superior em relação aos painéis dos tratamentos T_{1.1} e T_{2.1}, produzidos com UF. Esta característica também foi apontada nos estudos de Dias (2004), que atribui o fato à quantidade de sólidos presentes na resina, que por ser menor na UF (58 a 62%), comparada à PU-Mamona gera uma perda maior de água e conseqüentemente de densidade, uma vez que a espessura e a quantidade de adesivo foram as mesmas.

5.3 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Observa-se que os valores médios determinados para o teor de umidade apresentados na Tabela 9, estão de acordo com as exigências da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), a qual recomenda o intervalo entre 5 e 13 %.

Tabela 9 - Teor de umidade - Resultados I Etapa

NBR 14810-2:2013	5 a 13 (%)	-
Tratamento	Umidade	Desvio Padrão
T_{1.1}	7,4	0,8
T_{2.1}	8,1	0,5
T_{3.1}	8,5	0,2
T_{4.1}	7,9	0,2

Fonte: Acervo da autora

5.4 AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO APÓS 24H

A Tabela 10 apresenta os resultados médios obtidos nos ensaios para a determinação do inchamento em espessura após 24h.

Tabela 10 - Inchamento após 24h - Resultados I Etapa

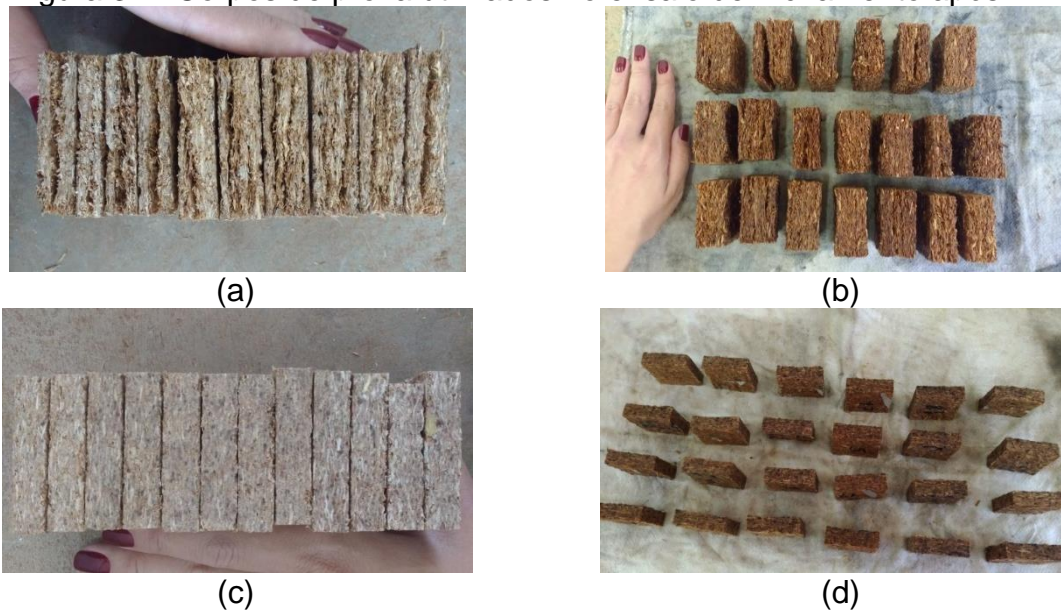
NBR 14810-2:2013	Limite de 18 (%)	-
Tratamento	Inchamento 24h	Desvio Padrão
T_{1.1}	103,3	8,4
T_{2.1}	116,3	15,7
T_{3.1}	17,2	3,4
T_{4.1}	18,0	1,0

Fonte: Acervo da autora

Com relação aos resultados dos ensaios para determinação do inchamento após 24h realizados nos corpos de prova ilustrados na Figura 31, verificou-se que os painéis dos tratamentos T_{1.1} e T_{2.1} produzidos com resina UF, não atenderam aos padrões mínimos normativos para uso em condições secas, cujo limite é 18% e, mostraram-se muito superiores aos valores determinados nos painéis produzidos com resina PU-Mamona, referentes aos tratamentos T_{3.1} e T_{4.1}, os quais atingiram valores dentro do recomendado pelo documento normativo.

Dias (2004) afirma que a estabilidade dimensional dos painéis com resina PU-Mamona é maior do que a encontrada para a resina UF, o que pode ser comprovado com os resultados obtidos no ensaio de inchamento após 24h. De acordo com Iwakiri *et al.*, (2005) a baixa resistência à umidade da UF limita o seu emprego à uso interno.

Figura 31 - Corpos de prova utilizados no ensaio de Inchamento após 24h



Onde: (a) CP dos painéis do T_{1.1} antes do ensaio; (b) CP dos painéis do T_{1.1} após ensaio; (c) CP dos painéis do T_{4.1} antes do ensaio; (d) CP dos painéis do T_{4.1} após ensaio.

Fonte: Acervo da autora

5.5 AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

Em relação ao Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR), os painéis do T_{3.1} e T_{4.1} apresentaram valores próximos aos referenciados pela NBR que é de, no mínimo, 11 MPa, conforme Tabela 11.

Tabela 11 - Resistência à Flexão Estática - Resultados I Etapa

NBR 14810-2:2013	Mínimo de 11 MPa	
Tratamento	MOR	Desvio Padrão
T_{1.1}	4	0,8
T_{2.1}	5	1,6
T_{3.1}	10	0,9
T_{4.1}	13	0,7

Fonte: Acervo da autora

Os painéis do T_{3.1} atingiram 90% do valor de referência e os painéis do T_{4.1} alcançaram valores médios com 18% acima do valor de referência. Enfatiza-se que os painéis do T_{4.1} apresentaram valores médios 30% superiores aos valores dos painéis do T_{3.1}, enquanto que os valores dos painéis do T_{1.1} e do T_{2.1} apresentaram

Módulo de Resistência à Flexão Estática, cerca de aproximadamente metade do mínimo recomendado.

5.6 AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

Quanto ao Módulo de Elasticidade (MOE) na flexão estática expresso na Tabela 12, observa-se que os únicos painéis que atenderam ao requisito mínimo recomendado foram os painéis do tratamento T_{4.1}.

Tabela 12 - Módulo de Elasticidade - Resultados I Etapa

NBR 14810-2:2013	Mínimo de 1800 MPa	Estatística
Tratamento	MOE	Desvio Padrão
T _{1.1}	446	142,2
T _{2.1}	1281	554,0
T _{3.1}	1363	17,0
T _{4.1}	1826	210,2

Fonte: Acervo da autora

Os painéis do T_{1.1}, T_{2.1} e T_{3.1} atingiram somente 24%, 71% e 75%, respectivamente, do valor de referência (1800 MPa) e somente os painéis do T_{4.1} conseguiram superar o valor de referência. Ressalta-se ainda que os painéis dos tratamentos T_{3.1} e T_{4.1}, produzidos com PU-Mamona, apresentaram valores de MOE superiores aos painéis dos tratamentos do T_{1.1} e T_{2.1} produzidos com UF.

5.7 AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO PERPENDICULAR

A Figura 32 ilustra o corpo de prova referente ao ensaio para determinação da Resistência à Tração Perpendicular (TP).

Figura 32 - Ensaio de Resistência à Tração Perpendicular



Onde: (a) Aspectos gerais do corpo de prova do painel do T_{3.1} durante a realização do ensaio; (b) Aspectos gerais do corpo de prova do painel do T_{3.1} após rompimento.

Fonte: Acervo da autora.

Os painéis produzidos com resina UF, referentes aos tratamentos T_{1.1} e T_{2.1}, apresentaram problemas na “degasagem” durante a confecção, gerando a formação de bolhas no interior dos painéis e na maioria dos casos a delaminação do painel, conforme ilustrado nos corpos de prova ilustrados na Figura 33.

Figura 33 - Corpos-de-prova dos painéis produzidos com UF



Fonte: Acervo da autora

O problema na “degasagem” e conseqüente delaminação, ocorrido durante a fabricação dos painéis, certamente influenciou as propriedades de resistência, ou seja, os valores de Resistência à Tração Perpendicular dos painéis produzidos com a resina UF não puderam ser analisados, pois, devido a delaminação dos painéis inviabilizou-se a realização do ensaio.

Tabela 13 - Resistência à Tração Perpendicular - Resultados I Etapa

NBR 14810-2:2013	Mínimo de 0,40 MPa	-
Tratamento	TP	Desvio Padrão
T_{1.1}	Não analisado	Não analisado
T_{2.1}	Não analisado	Não analisado
T_{3.1}	0,42	0,10
T_{4.1}	0,77	0,10

Fonte: Acervo da autora

Com relação aos painéis produzidos com os tratamentos T_{3.1} e T_{4.1}, observa-se que os valores obtidos com os ensaios (Tabela 13) encontram-se acima do mínimo recomendado pelo documento normativo que é de 0,40 MPa. Vale ressaltar que os painéis do T_{4.1} apresentaram resistência 83% superior aos painéis do T_{3.1}, ambos produzidos com PU-Mamona. Esta característica dos painéis pode estar relacionada ao tipo do adesivo e a maior quantidade de partículas de madeira com relação às partículas de bagaço de cana e também a maior densidade do painel.

5.8 CONSIDERAÇÕES GERAIS - PRIMEIRA ETAPA

Na Tabela 14 verificam-se análises comparativa/qualitativa entre painéis produzidos com partículas de madeira, bagaço de cana e resinas.

Tabela 14 - Análise Comparativa/Qualitativa

Característica	Valores comparados		Melhor resultado
Tipo de partícula	Madeira	Bagaço	Madeira
Tipo de resina	UF	PU - Mamona	PU - Mamona
U% adequada (10%)	UF	PU - Mamona	PU - Mamona

Fonte: Acervo da autora

De modo geral, os tratamentos com porcentagem maior de madeira obtiveram resultados melhores se comparados aos produzidos com uma maior porcentagem de bagaço de cana-de-açúcar. De acordo com SANCHEZ *et al.* (2010) se comparadas com outras fibras, as de bagaço de cana-de-açúcar apresentam menor resistência à tração e módulo de elasticidade, assim como maior umidade e facilidade de degradação, devido ao seu alto teor de hemicelulose (27%) e lignina (21%). Enfatiza-se também que, segundo observa-se nos estudos realizados por Iwakiri (2005) e Belini *et al.* (2011), quanto maior a porcentagem de madeira na mistura, maior a densidade

e melhores os resultados das propriedades mecânicas, o que é compatível com os resultados obtidos neste trabalho.

Os painéis produzidos com PU-Mamona apresentaram os melhores resultados para as propriedades físicas e mecânicas avaliadas, se comparados com os painéis produzidos com UF. Considera-se que os resultados alcançados neste trabalho foram compatíveis aos determinados por Dias (2004), que ao avaliar painéis aglomerados produzidos com PU-Mamona e UF, verificou que os valores das propriedades mecânicas dos painéis produzidos com resina PU-Mamona foram superiores aos painéis com UF, incluindo maior estabilidade dimensional.

Estudos realizados por Fiorelli et al. (2012), constataram que painéis produzidos com fibra de coco e adesivo PU-Mamona alcançaram um aumento no MOR e diminuição do inchamento após 24h se comparados com painéis produzidos com resina ureia-formaldeído. Análises realizadas por meio de microscopia eletrônica de varredura, indicaram que o adesivo de poliuretano à base de óleo de mamona ocupou os vazios entre as partículas, contribuindo para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Evidencia-se que para os painéis produzidos na primeira etapa deste trabalho, verificou-se a necessidade de ajustes nos parâmetros de confecção dos painéis para melhorar os valores tanto das propriedades físicas como das propriedades mecânicas.

Com base nas análises realizadas para caracterização das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, verificou-se que os painéis produzidos com o adesivo PU-Mamona estão de acordo com as exigências da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

O teor de umidade das partículas dos painéis produzidos com UF necessitou de ajustes, pois, as partículas com 10% de umidade obtiveram problemas durante a prensagem dos painéis. Portanto, foi proposto para a segunda etapa da pesquisa, o ajuste no teor de umidade das partículas para 3%, conforme recomendado por Iwakiri (2000), objetivando-se evitar o problema de delaminação dos painéis devido ao excesso de umidade das partículas. Entretanto, para os painéis produzidos com PU-Mamona, os 10% de umidade das partículas propiciou maior homogeneização do adesivo às partículas e, conseqüentemente, conferiu melhores propriedades aos painéis, assim manteve-se este teor de umidade para este adesivo.

Verificou-se também que os painéis com maior porcentagem de madeira, em relação à quantidade de bagaço de cana, apresentaram melhores propriedades mecânicas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS PAINÉIS DA SEGUNDA ETAPA

6.1 AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (PARTÍCULAS)

Determinou-se a composição granulométrica e os módulos de finura do eucalipto (3,7) e do bagaço de cana-de-açúcar (4,2), cuja distribuição pode ser observada nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15 - Distribuição granulométrica das partículas de Eucalipto

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1	0	0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64	0	0,00		0	100,00
-	2"	50,8	0	0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1	0	0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4	0	0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19	0	0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7	0	0,00		0,00	100,00
3/8"	-	9,51	0	0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	0,8	0,53	0,53		99,47
N.º 8	-	2,38	9,4	6,20	6,73		93,27
N.º 16	-	1,19	97,03	64,03	70,76		29,24
N.º 30	-	0,595	38,2	25,21	95,97		4,03
N.º 50	-	0,297	5,8	3,83	99,80		0,20
N.º 100	-	0,149	0,21	0,14	99,93		0,07
fundo	-	0,075	0,1	0,07		100,00	
Total			151,54	100	3,74		MF 3,7

Fonte: Acervo da autora

Para as partículas de resíduos de eucalipto mantiveram-se os mesmos procedimentos adotados para a produção dos painéis exploratórios e com base nos resultados obtidos, optou-se por não efetuar o processamento das partículas de bagaço de cana no moinho de facas, apenas realizou-se a seleção das partículas por meio de peneiramento do material. Selecionou-se então as partículas de forma a aumentar a quantidade de massa retida na faixa de 6 a 4 mm.

Deve-se enfatizar que deixando-se de efetuar o processamento em moinho de facas, reduz-se o tempo de produção, assim como os gastos com energia e manutenção de equipamentos, gerando maior economia financeira e energética.

Tabela 16 - Distribuição granulométrica das partículas de Bagaço

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1	0	0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64	0	0,00		0	100,00
-	2"	50,8	0	0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1	0	0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4	0	0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19	0	0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7	0	0,00		0,00	100,00
3/8"	-	9,51	0	0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3	1,2	3,99		3,99	96,01
N.º 4	-	4,76	3,3	10,96	14,95		85,05
N.º 8	-	2,38	9,2	30,55	45,50		54,50
N.º 16	-	1,19	5,8	19,26	64,76		35,24
N.º 30	-	0,595	8,3	27,57	92,33		7,67
N.º 50	-	0,297	2	6,64	98,97		1,03
N.º 100	-	0,149	0,29	0,96	99,93		0,07
fundo	-	0,075	0,02	0,07		100,00	
Total			30,11	100	4,16		MF 4,2

Fonte: Acervo da autora

Na Tabela 16 observam-se retenções de partículas onde, verificou-se que, para as peneiras de n^{os} 1/4", 4 e 8 o peso retido foi de 1,2; 3,3 e 9,2 g, respectivamente. E verifica-se que o percentual retido e acumulado nestas três peneiras foi de 45,5% contra uma porcentagem utilizada de 21,33% nesta mesma faixa para a produção dos painéis experimentais (primeira etapa), aumentando assim em aproximadamente 2 vezes a porcentagem de partículas retidas nas peneiras de maior abertura.

Outra análise importante realizada foi a verificação das características dimensionais das partículas retidas em cada faixa granulométrica, na qual se efetuou-se uma aferição e determinou-se o comprimento médio para uma amostragem de 20 partículas por peneira (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17 - Comprimento médio das partículas (Eucalipto)

Peneiras	Abertura (mm)	Comprimento Médio (mm)	% Retida
-	6,3	-	0,00
N.º 4	4,76	9,8	0,53
N.º 8	2,38	14,8	6,20
N.º 16	1,19	13,1	64,03
N.º 30	0,595	8,2	25,21
N.º 50	0,297	6,2	3,83
N.º 100	0,149	5,5	0,14
Fundo	0,075	-	0,07
Total		-	100,00

Fonte: Acervo da autora

Tabela 18 - Comprimento médio das partículas (Bagaço)

Peneiras	Abertura (mm)	Comprimento Médio (mm)	% Retida
-	6,3	-	3,99
N.º 4	4,76	29,5	10,96
N.º 8	2,38	24,1	30,55
N.º 16	1,19	17,3	19,26
N.º 30	0,595	12,2	27,57
N.º 50	0,297	11,2	6,64
N.º 100	0,149	7,7	0,96
Fundo	0,075	-	0,07
Total		-	100,00

Fonte: Acervo da autora

Desta forma, pode-se afirmar que, com os ajustes de parâmetros houve um aumento considerável na quantidade de partículas de maiores dimensões na mistura para a confecção dos painéis da segunda etapa.

Observa-se também que para o bagaço houve uma relação direta entre o comprimento da partícula relacionado com as dimensões da abertura da peneira. Já no eucalipto, não se viu o mesmo comportamento, podendo relacionar com a espessura da partícula e não seu comprimento.

6.2 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE

Com base nos resultados obtidos com os ensaios para a determinação da densidade dos painéis de cada tratamento, foram calculados a densidade média e o

módulo máximo de variação da densidade (D%), sendo os valores comparados com os propostos pelo documento normativo, conforme apresentado nas Tabelas 19 e 20.

Tabela 19 - Densidade. Traço T_{2.2} (UF). Resultados II Etapa

Resultados	Densidade (kg/m ³)	Variação da Densidade (D%)
Média	966	3
Desvio Padrão	38	
IC 95%	939 a 993	
NBR 14810 - 1 (2013)	551 a 750	7
Tamanho Amostral	10	

Fonte: Acervo da autora

Tabela 20 - Densidade. Traço T_{4.2} (PU-Mamona). Resultados II Etapa

Resultados	Densidade (kg/m ³)	Variação da Densidade (D%)
Média	882	6
Desvio Padrão	64	
IC 95%	836 a 928	
NBR 14810 - 1 (2013)	551 a 750	7
Tamanho Amostral	10	

Fonte: Acervo da autora.

Os resultados obtidos nas Tabelas 19 e 20 indicam que todos os corpos de prova analisados apresentaram densidades acima do intervalo proposto pela NBR14810-1 (2013) para painéis de média densidade e que a variação da densidade com relação à densidade média ficou abaixo de 7% para os painéis dos tratamentos avaliados (T_{2.2} e T_{4.2}).

Utilizando-se o Teste t de *Student* para comparar estatisticamente as médias das densidades dos painéis produzidos UF e com PU-Mamona, verificou-se que as médias diferem no nível de significância de 0,05, pois $p = 0,003 < 0,05$, e que a diferença entre as amostras é de 84 kg/m³ com 95% de confiança de que a verdadeira diferença está entre 35 e 134 kg/m³.

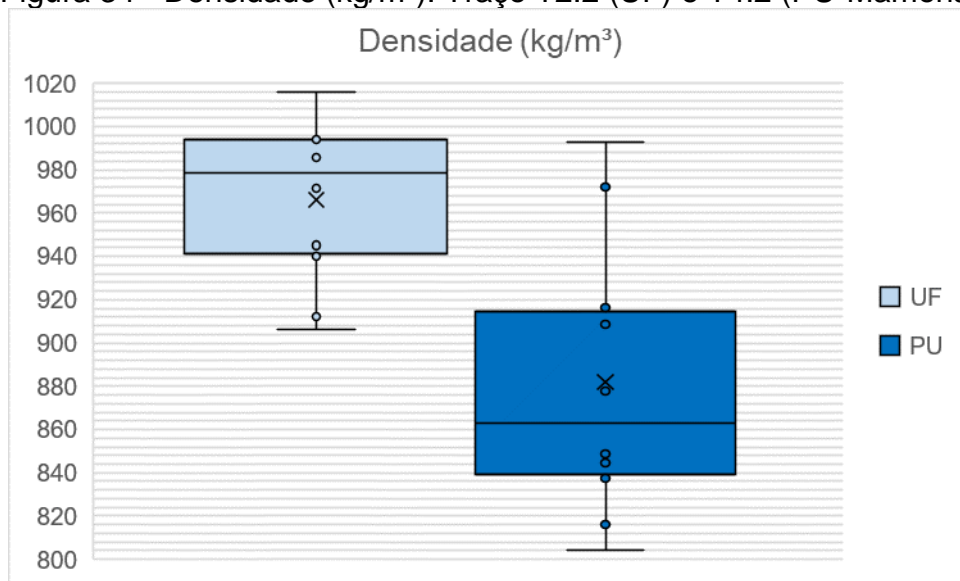
A densidade média dos corpos de prova dos painéis produzidos com resina UF foi de 966 kg/m³, estando seu intervalo de confiança entre 939 e 993 kg/m³ com variação em relação à densidade média de 3%, contra uma densidade de 885 kg/m³ com intervalo de confiança entre 836 e 928 kg/m³ e variação em relação à densidade média de 6% nos painéis produzidos com PU-Mamona.

Portanto, em relação à densidade obtida, pode-se afirmar que os painéis produzidos com resina UF apresentaram maior densidade média, aproximadamente

9% superior à obtida com os painéis produzidos com PU-Mamona e que os corpos de prova dos painéis produzidos com PU-Mamona superaram a variação da densidade média dos produzidos com UF.

Analisando-se os quartis representados no gráfico da Figura 34, verifica-se que aproximadamente 75% dos valores encontram-se abaixo de 994 kg/m³ (UF) e 915 kg/m³ (PU- Mamona), com mediana de 979 e 863 kg/m³, respectivamente. Valores com precisão de 1 kg/m³ conforme recomendação da NBR 14810 - 2 (ABNT, 2013b).

Figura 34 - Densidade (kg/m³). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)



Fonte: Acervo da autora

Observou-se ainda que, ao se diminuir a massa de partículas com o objetivo de reduzir a densidade final dos painéis, ocorreu também a diminuição da espessura e dos volumes dos painéis, aumentando a densidade final, provavelmente devido a maior facilidade de compactação dos painéis. Ressalta-se, entretanto, que para confecção destes painéis empregou-se a mesma pressão de prensagem dos painéis exploratórios.

Salienta-se que a NBR 14810-2: Painéis de partículas de média densidade - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2013b), não define intervalos para a densidade final para painéis de partículas, sendo esta densidade somente determinada na NBR 14810-1: Painéis de partículas de média densidade - Parte 1: Terminologia (ABNT, 2013a), na seção “Termos e Definições”, onde encontra-se definido um painel de partículas de média densidade.

Se forem comparados os valores alcançados nesta pesquisa com os propostos pela NBR 15316 - 2 (ABNT, 2015) para painéis de fibras de média densidade, e também com a literatura para painéis de fibra, é possível observar que os valores de densidade também superaram a densidade mínima de 800 kg/m³, proposto para classificação de painéis de fibras do Tipo HDF - Painéis de alta densidade para uso geral em condições secas.

Oliveira *et al.* (2016) avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis comerciais, onde os valores médios da densidade aparente para painéis de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar foram de 623 e 616 kg/m³, respectivamente, podendo ser classificados como painéis de média densidade. Portanto os painéis produzidos na segunda etapa deste estudo superaram os valores das densidades obtidas nos painéis comerciais avaliados na pesquisa de Oliveira *et al.* (2016).

6.3 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Os valores médios determinados nos ensaios de Teor de Umidade estão representados na Tabela 21.

Tabela 21 - Umidade. Resultados II Etapa

Traço	UF	PU - Mamona
Resultados	Umidade (%)	Umidade (%)
Média	6,8	7,4
Desvio Padrão	0,5	0,1
IC 95%	6,5 a 7,1	7,3 a 7,5
NBR 14810 - 2 (2013)	5 a 13	5 a 13
Tamanho Amostral	10	10

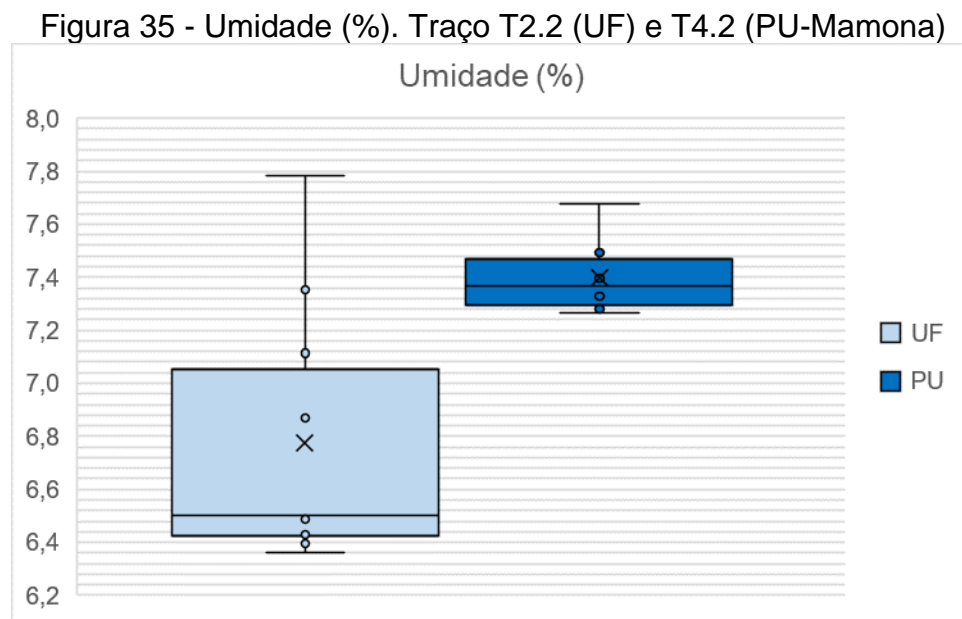
Fonte: Acervo da autora

Os resultados dos dois tratamentos seguem uma distribuição normal. Estatisticamente, as médias diferem no nível de significância de 0,05 com $p = 0,001 < 0,05$, e a diferença entre as amostras é de 0,6%, estando o intervalo de confiança entre 0,3 e 1,0%.

Os painéis produzidos com resina UF alcançaram umidade média de 6,8%, com intervalo de confiança de 6,5 e 7,1%, enquanto que a umidade média dos painéis

de PU-Mamona foi de 7,4% com intervalo de confiança entre 7,3 e 7,5%, ambos os tratamentos dentro do intervalo de 5 a 13% recomendado pela Norma Brasileira.

Pode ser verificado nos quartis representados no gráfico da Figura 35 que, aproximadamente 75% dos valores encontram-se abaixo de 7,1% (UF) e 7,5% (PU-Mamona), com mediana de 6,5 e 7,4%, respectivamente, com valores com precisão de 0,1% conforme recomendação da NBR 14810 - 2 (2013).



Nos resultados dos ensaios de umidade, os painéis produzidos com resina UF obtiveram umidade média de aproximadamente 9% inferior à obtida com os painéis produzidos com PU-Mamona. Observa-se na Figura 35 que os painéis UF alcançaram também uma maior variação dos resultados entre os corpos de prova analisados.

Oliveira *et al.* (2016) encontraram para os painéis comerciais fabricados com eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar chinês resultados para o teor de umidade de aproximadamente 10, e 9%, respectivamente, todos de acordo com o intervalo recomendado pela NBR 14810 - 2 (2013).

6.4 AVALIAÇÃO DO INCHAMENTO APÓS 24H

Na Tabela 22 são apresentados os resultados médios obtidos nos ensaios para a determinação do inchamento após 24h.

Tabela 22 - Inchamento. Resultados II Etapa

Traço Corpo de prova	UF Inchamento 24h (%)	PU-Mamona Inchamento 24h (%)
Média	65,6	10,9
Desvio Padrão	9,0	3,4
IC 95%	59,1 a 72,1	8,5 a 13,3
NBR 14810 - 2 (2013) (P4)	19	19
Tamanho Amostral	10	10

Fonte: Acervo da autora

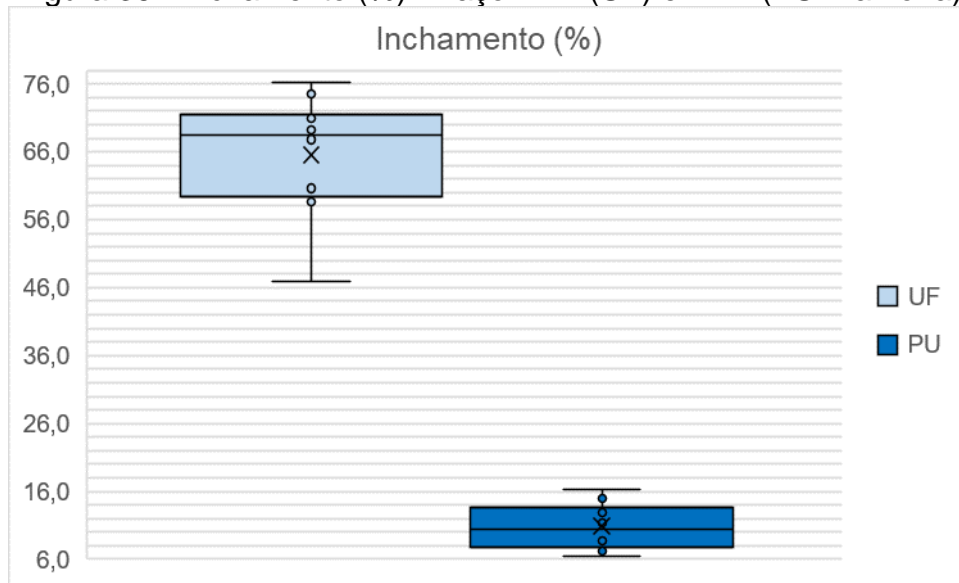
Constatou-se que, assim como ocorreu na confecção dos painéis experimentais, o inchamento em espessura após 24 horas médio dos painéis dos tratamentos produzidos com UF (65,6%) continuou não atendendo ao requisito normativo para painéis para uso em condições secas (19%), mostrando-se muito superiores aos resultados determinados para os painéis produzidos com resina PU-Mamona, os quais atingiram inchamento médio de 10,9%, valor compatível com o recomendado pelo documento normativo.

Observa-se ainda na Tabela 22, os intervalos de confiança de 59,1 a 72,1% para painéis produzidos com UF e de 8,5 a 13,3%, para painéis produzidos com PU-Mamona.

Foi possível concluir que as médias dos painéis produzidos com UF e PU diferem estatisticamente em 54,7%, pois $p = 0,000 < 0,05$, e que o intervalo de confiança para a diferença encontra-se entre 48,0 e 61,4%, com valores com precisão de 0,1% conforme recomendação da NBR 14810 - 2 (2013).

Na figura 36, verificam-se os quartis dos dados, representados no gráfico, onde aproximadamente 75% dos valores encontram-se abaixo de 71,4% (UF) e 13,2% (PU-Mamona), com mediana de 68,5 e 10,5%, respectivamente.

Figura 36 - Inchamento (%). Traço T2.2 (UF) e T4.2 (PU-Mamona)



Fonte: Acervo da autora

Na Figura 36 evidencia-se que os painéis UF alcançaram também uma maior variação dos resultados entre os corpos de prova analisados e que os valores das porcentagens de inchamento são muito superiores, aproximadamente 600%, do resultado obtido com os painéis produzidos com PU-Mamona.

De acordo com Winandy e Morrell (2017) os painéis aglomerados são fabricados geralmente com resinas de ureia-formaldeído (UF) que são menos resistentes à umidade e assim limitam sua aplicação a usos secos. Adicionam-se aditivos de parafina para melhorar a resistência à umidade, mas esses produtos à base de partículas ou fibras incham substancialmente sob exposição prolongada à umidade.

Em comparação a outros tipos de painéis de madeira, a redução na resistência à umidade é devida à maior proporção de grãos finos devido à maior relação superfície/volume de partículas e devido ao uso de sistemas de resina, como o UF, que têm resistência à umidade muito menor do que as resinas de fenol-formaldeído e isocianato, usadas em painéis estruturais como OSB e compensado.

As resinas UF propiciam pouca resistência à umidade quando expostas a condições úmidas e os painéis resultantes têm baixo desempenho de resistência à umidade, eventualmente sofrem deterioração nas ligações da resina e perda de integridade estrutural. O aumento do teor de resina pode melhorar a durabilidade, mas também aumenta os custos.

Pedreschi (2009) analisou painéis comerciais, onde os valores médios aproximados obtidos no inchamento em espessura de painéis de bagaço de cana chinês e eucalipto de duas empresas brasileiras foram respectivamente 12, 17 e 14%.

Os painéis experimentais de bagaço de cana produzidos por Tabarsa, Ashori e Gholamzadeh (2011) atingiram valores de inchamento em espessura entre 23 e 25%.

Para os painéis comerciais fabricados com eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar chinês analisados no estudo realizado por Oliveira *et al.* (2016), os resultados de inchamento foram de aproximadamente 37 e 44% respectivamente, valores acima do recomendado pelo instrumento normativo brasileiro. De acordo com os autores, os altos valores de inchamento obtidos para os painéis de eucalipto podem ser explicados por uma menor razão de compactação entre as partículas, resultando em maiores espaços vazios, comprovadas por micrografias eletrônicas e, portanto, facilidade de penetração de água na estrutura do painel.

6.5 AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA

A Tabela 23 apresenta os valores obtidos nos ensaios para determinação do Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR) para painéis produzidos com UF e PU-Mamona.

Observa-se que os dois tratamentos apresentam valores médios superiores ao valor mínimo de 16 MPa definido pela NBR 14810 - 2 (ABNT, 2013b) para Painéis estruturais para uso em condições secas (Tipo P4), conforme se observa na Tabela 23.

Tabela 23 - MOR. Resultados II Etapa

Traço Corpo de prova	UF MOR (MPa)	PU-Mamona MOR (MPa)
Média	18	31
Desvio Padrão	4	4
IC 95%	15 a 21	28 a 34
NBR 14810 - 2 (2013) (P4)	16	16
Tamanho Amostral	10	10

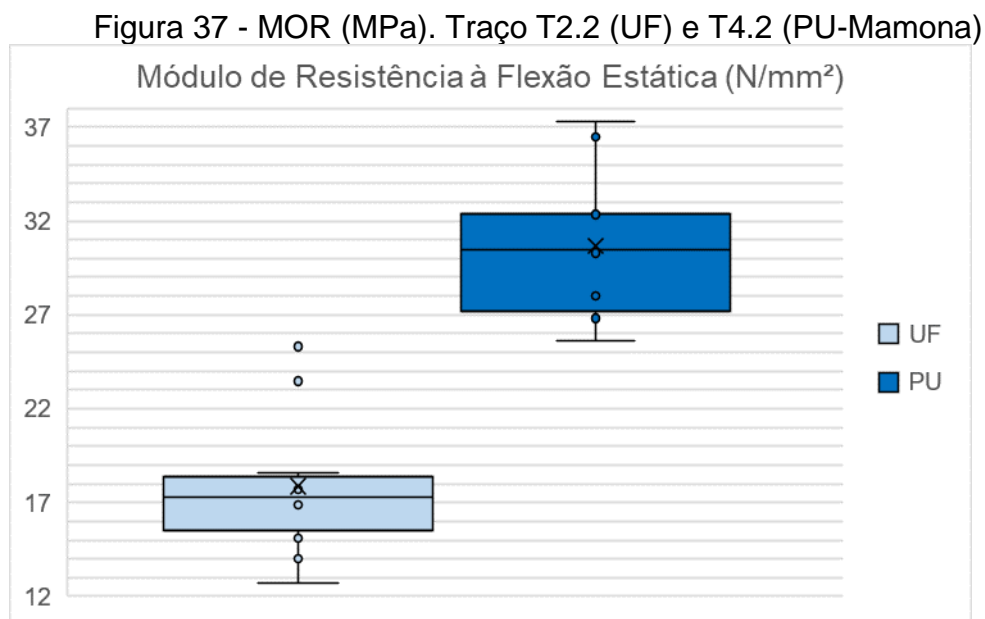
Fonte: Acervo da autora

Os painéis produzidos com PU-Mamona apresentaram resultado médio para o Módulo de Resistência à Flexão Estática (MOR) aproximadamente 72% superior ao obtido nos painéis produzidos com UF.

Os painéis produzidos com resina UF alcançaram a média de 18 MPa, com intervalo de confiança entre 15 e 21 MPa, enquanto que a média para painéis de PU foi de 31 MPa com intervalo de confiança entre 28 e 34 MPa.

A análise estatística possibilitou verificar que as médias das amostras UF e PU-Mamona diferem estatisticamente em 13 MPa, com $p = 0,000 < 0,05$, estando o intervalo de confiança para a diferença entre 9 e 17 MPa.

Na figura 37 observam-se os quartis, onde aproximadamente 75% dos valores encontram-se abaixo de 18 MPa (UF) e 32 MPa (PU-Mamona), com mediana de 17 e 30 MPa, respectivamente. Pode-se observar também a presença de valores residuais, superiores aos demais para os painéis UF, com valores com precisão de 1 MPa conforme recomendação da NBR 14810-2 (2013b).



Os painéis comerciais de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar chinês do estudo de Oliveira *et al.* (2016), alcançaram MOR de aproximadamente 13 e 9 MPa, respectivamente. Segundo os autores, os maiores valores de MOE e MOR obtidos para os painéis produzidos com eucalipto podem ser explicados pelas características físicas e anatômicas das partículas de madeira, bem como pelas associações entre

esses fatores e as variáveis de produção dos painéis. O menor valor médio observado para painéis produzidos com bagaço de cana em comparação com painéis produzidos com Eucalipto pode ser decorrente da presença de medula no bagaço de cana, que é um material com baixa resistência mecânica.

Na pesquisa realizada por Tabarsa, Ashori e Gholamzadeh (2011) os painéis experimentais produzidos com bagaço de cana-de-açúcar apresentaram propriedades mecânicas superiores, em comparação com os painéis produzidos com partículas de madeira com valores máximos do MOR de 20,5 MPa para bagaço de cana e, 13,2 MPa para partículas de choupo. Segundo os autores, o uso de espécies leves melhora as propriedades mecânicas de compósitos de madeira devido à alta compactação.

Os valores de MOR encontrados na pesquisa de Pedreschi (2009), para os painéis de bagaço de cana chinês e eucalipto de duas empresas brasileiras foram de 17, 16 e 14 MPa, respectivamente.

Portanto, os painéis experimentais desenvolvidos na segunda etapa deste trabalho superaram os valores de MOR obtidos nas pesquisas de Pedreschi (2009), Oliveira *et al.* (2016) e os requisitos exigidos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), para painéis estruturais do tipo P4, para uso em condições secas.

6.6 AVALIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE (MOE)

Com base nos resultados obtidos nos ensaios para determinação do Módulo de Elasticidade (MOE), apresentados na Tabela 24, foi possível observar que os dois tratamentos superaram o valor mínimo de 2300 MPa, definido pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), para Painéis estruturais para uso em condições secas (Tipo P4).

Tabela 24 - MOE. Resultados II Etapa

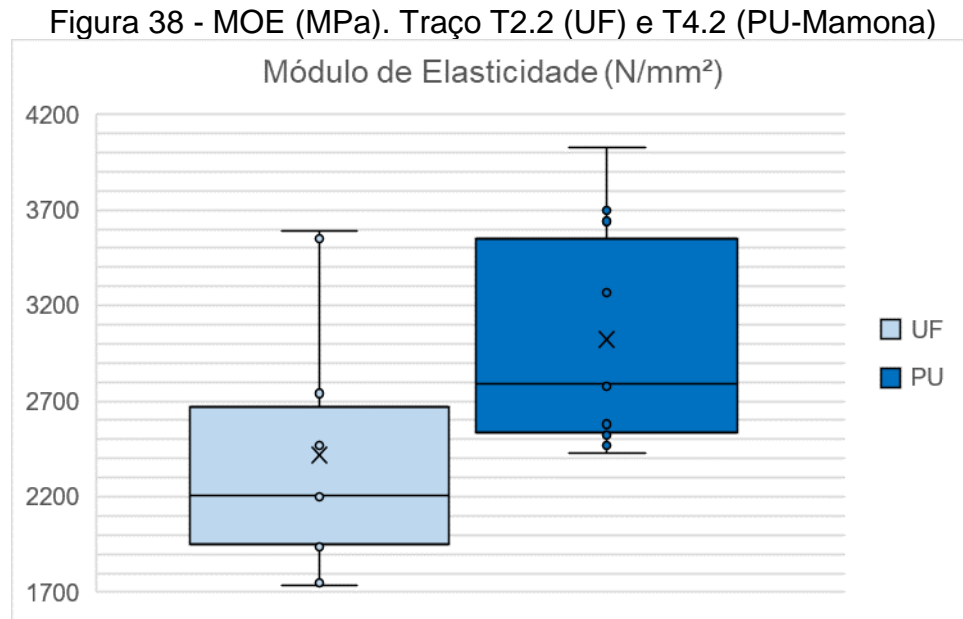
Traço	UF	PU-Mamona
Corpo de prova	MOE (MPa)	MOE (MPa)
Média	2420	3020
Desvio Padrão	681	590
IC 95%	1930 e 2910	2600 e 3440
NBR 14810 - 2 (2013) (P4)	2300	2300
Tamanho Amostral	10	10

Fonte: Acervo da autora

Constata-se que os painéis produzidos com adesivo PU-Mamona apresentaram resultados para o Módulo de Elasticidade (MOE) aproximadamente 25% superiores aos obtidos nos painéis produzidos com UF, conforme se observa na Tabela 24.

O MOE médio dos corpos de prova dos painéis produzidos com resina UF foi de 2420 MPa, estando seu intervalo de confiança entre 1930 e 2910 MPa, contra média de 3020 MPa com intervalo de confiança entre 2600 e 3440 MPa nos painéis de PU. Comparando-se estatisticamente as médias das duas amostras (UF e PU-Mamona), foi possível concluir que as duas amostras diferem estatisticamente em 600 MPa, pois $p = 0,04 < 0,05$, com 95% de confiança de que a verdadeira diferença está entre 0 e 1200 MPa, com valores com precisão de 10 MPa conforme recomendação da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

Analisando-se os quartis ilustrados na Figura 38 verifica-se que aproximadamente 75% dos valores encontram-se abaixo de 2673 MPa, para painéis com UF e 3548 MPa para painéis com PU-Mamona, com mediana de 2210 e 2790 MPa, respectivamente.



O valor do MOE resultante dos ensaios dos painéis comerciais de Eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar chinês da pesquisa de Oliveira *et al.* (2016), foram de aproximadamente 2870 e 2295 MPa, respectivamente.

Nos estudos realizados por Tabarsa, Ashori e Gholamzadeh (2011), utilizando-se bagaço de cana-de-açúcar e partículas de choupo e de madeira mista (carvalho, faia e choupo) os painéis produzidos com bagaço de cana apresentaram propriedades mecânicas superiores em comparação com o choupo e partículas de madeira, com MOE máximo de 2120 MPa para painéis com bagaço e 1980 MPa para choupo.

Os valores de MOE obtidos nos ensaios de painéis comerciais no estudo de Pedreschi (2009) foram de 2895, 3662 e 2989 MPa para os painéis de bagaço de cana chinês e eucalipto de duas empresas brasileiras, respectivamente.

6.7 AVALIAÇÃO DA TRAÇÃO PERPENDICULAR

A NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) define que para Painéis estruturais para uso em condições secas (Tipo P4) os valores médios obtidos nos ensaios para determinar a Tração Perpendicular devem superar 0,40 MPa. A Tabela 25 apresenta os valores obtidos com os ensaios de Tração Perpendicular.

Tabela 25 - TP. Resultados II Etapa

Traço	UF	PU-Mamona
Corpo de prova	TP (MPa)	TP (MPa)
Média	0,95	2,52
Desvio Padrão	0,21	0,29
IC 95%	0,80 e 1,10	2,31 e 2,73
NBR 14810 - 2 (2013) (P4)	0,40	0,40
Tamanho Amostral	10	10

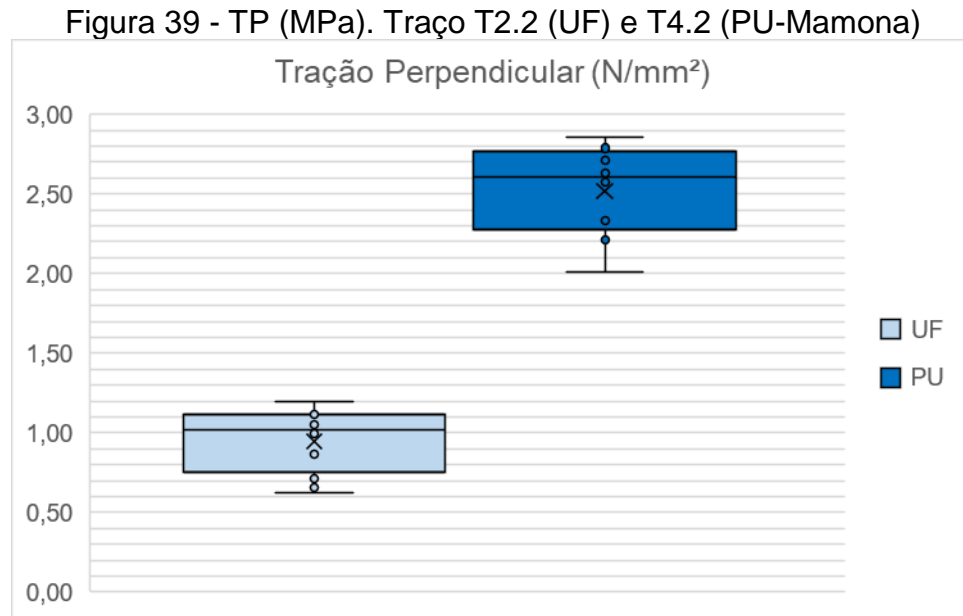
Fonte: Acervo da autora

Pode-se observar na Tabela 25 que os valores médios obtidos com os ensaios para determinação da Tração Perpendicular, indicam que tanto os painéis produzidos com UF (0,95 MPa), quanto os painéis produzidos com PU-Mamona (2,52 MPa) superaram o valor mínimo definido pela NBR14810-2 (ABNT, 2013b) e que os painéis com PU-Mamona apresentaram resistência 165% superior à média da Resistência à Tração Perpendicular dos painéis com UF.

Os resultados para esta propriedade se apresentam com distribuição normal, pois, $p > 0,150 > 0,05$ para as amostras de painéis produzidos com os dois tipos de adesivos. Verifica-se ainda que as médias das duas amostras diferiram estatisticamente pois, $p = 0,000 < 0,05$ em 1,57 MPa, estando o intervalo de confiança entre 1,33 e 1,81 MPa.

Os painéis produzidos com UF alcançaram média de 0,95 MPa, com intervalo de confiança entre 0,80 e 1,10 MPa, enquanto que, a média para painéis com PU foi de 2,52 MPa com intervalo de confiança entre 2,31 e 2,73 MPa. Valores com precisão de 0,01 MPa conforme recomendação da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

Nos quartis representados no gráfico da Figura 39 pode ser observado que aproximadamente 75% dos valores para os painéis com UF situaram-se abaixo de 1,10 MPa e 2,80 MPa para os painéis com PU, com mediana de 1,0 e 2,60 MPa, respectivamente.



Para Oliveira *et al.* (2016), os valores de adesão interna para painéis comerciais de eucalipto e bagaço de cana chinesa foram de aproximadamente 0,40 MPa e 0,26 MPa, respectivamente. De acordo com os autores, a razão para o menor valor médio da adesão interna para os painéis, produzidos com bagaço de cana pode estar relacionada à menor quantidade de adesivo disponível por partícula, pois, para se produzir um painel aglomerado, com a mesma densidade usando este resíduo, é necessário uma maior quantidade de partículas, devido à menor densidade do material em comparação a partículas de madeira.

Para os painéis comerciais de bagaço de cana chinesa e partículas de eucalipto de duas empresas brasileiras analisados por Pedreschi (2009), os valores médios aproximados obtidos para a Tração Perpendicular foram de 0,44 MPa, 0,60 MPa e 0,45 MPa, respectivamente.

Portanto, os painéis experimentais desenvolvidos na segunda etapa deste trabalho se mostraram satisfatórios, apresentando-se superiores à literatura de referência e os requisitos exigidos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), para painéis estruturais do tipo P4, para uso em condições secas.

6.8 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela 26 apresenta o resumo dos resultados médios e dos intervalos de confiança (IC) obtidos com os ensaios realizados, comparados com os valores definidos pelas NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a e b) para painéis do tipo P4 (Painéis estruturais para uso em condições secas) e P6 (Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas).

Tabela 26 - Resumo dos resultados obtidos com os ensaios. II Etapa

Propriedade	UF		PU		NBR 14810-1 e 2	
	Média	IC (\pm)	Média	IC (\pm)	(P4)	(P6)
D (kg/m³)	966	27	882	46	551 a 750	551 a 750
U (%)	6,8	0,3	7,4	0,1	5 a 13	5 a 13
I (%)	65,6	6,5	10,9	2,4	19	16
MOR (MPa)	18	3	31	3	16	20
MOE (MPa)	2420	490	3020	420	2300	3150
TP (MPa)	0,95	0,15	2,52	0,21	0,40	0,60

Fonte: Acervo da autora

A Tabela 27 apresenta um comparativo entre os resultados médios obtidos com os ensaios realizados, comparados com os valores definidos pelas NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a e b) para painéis do tipo P4 (Painéis estruturais para uso em condições secas) e com os resultados dos painéis comerciais avaliados na pesquisa de Oliveira *et. al* (2016).

Tabela 27 – Comparação dos resultados obtidos com os ensaios. II Etapa

Propriedade	UF	PU	ABNT (P4)	Oliveira <i>et. al</i> (2016)	
				Eucalipto	Bagaço
D (kg/m³)	966	882	551 a 750	623	616
U (%)	6,8	7,4	5 a 13	10	9
I (%)	65,6	10,9	19	37	44
MOR (MPa)	18	31	16	13	9
MOE (MPa)	2420	3020	2300	2870	2295
TP (MPa)	0,95	2,52	0,40	0,40	0,26

Fonte: Acervo da autora

Para a avaliação da densidade, observa-se que os valores médios, assim como os valores dos intervalos de confiança encontram-se acima do definido no instrumento normativo para painéis de partículas de média densidade, encontrando-se também superiores aos painéis comerciais avaliados por Oliveira *et. al* (2016).

Os valores determinados para o Teor de Umidade encontram-se dentro do intervalo recomendado por norma para todos os painéis.

Com relação ao Inchamento após 24h, os painéis produzidos com PU-Mamona alcançaram resultados adequados, para a média e para o intervalo de confiança, situando-se dentro do valor máximo recomendado para painéis do Tipo P6 e P4, enquanto que os painéis produzidos com UF superaram muito o valor máximo estabelecido para a produção de painéis de partículas, o que também foi observado nos painéis comerciais do estudo de Oliveira *et. al* (2016).

Em referência aos resultados obtidos para o MOR, a média dos painéis UF (18 MPa) superou o proposto para painéis do Tipo P4 (16 MPa), com 95% de confiança dos valores entre 15 e 21 MPa. Para os painéis com PU-Mamona a média (31 MPa) superou o determinado para painéis do Tipo P6 (20 MPa), com 95% de confiança dos valores entre 28 e 33 MPa. Desta forma, os painéis produzidos para ambos os adesivos superaram também os resultados alcançados por Oliveira *et. al* (2016).

Para os resultados do MOE, ambos os tratamentos alcançaram resultados médios superiores ao estipulado para painéis do Tipo P4.

Nota-se também que os valores médios, assim como os valores dos intervalos de confiança, resultantes dos ensaios de TP dos painéis com PU-Mamona e UF encontram-se acima do definido para painéis do Tipo P6 e superiores ao obtido nos painéis comerciais avaliados por Oliveira *et. al* (2016).

De acordo com a EN 300 (EUROPEAN..., 2002) o OSB (*Oriented Strand Board*) é definido como um painel aglomerado composto por várias camadas de partículas de madeira longas e orientadas, de determinado formato e espessura, aglutinadas por um adesivo. As partículas das camadas exteriores são alinhadas e dispostas paralelamente ao comprimento ou à largura da placa e as camadas interiores orientadas, geralmente, na direção perpendicular à das partículas de madeira das camadas exteriores.

Os painéis OSB são painéis de madeira utilizados em todo o mundo, principalmente nos setores de embalagens e construção. Sua participação de mercado está aumentando rapidamente graças às suas excelentes propriedades

mecânicas e ao interesse renovado por produtos à base de madeira. Suas principais características são o grande tamanho das partículas de que são compostas e a orientação intencional dessas fibras, que é o que confere às placas seu alto desempenho mecânico em seu eixo longitudinal, sendo comumente usados no setor de construção (BENETTO; BECKER; WELFRING, 2009; REBOLLAR; PÉREZ; VIDAL, 2007).

Os tipos e requisitos normativos dos painéis OSB podem ser observados na Tabela 28.

Tabela 28 - Tipos de painéis OSB e requisitos normativos

Tipo	Uso	Ambiente	U (%)	I (%)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)
OSB/1	Geral	Seco	2 a 12	25	20	2500	0,30
OSB/2	Estrutural	Seco	2 a 12	20	22	3500	0,34
OSB/3	Estrutural	Úmido	5 a 12	15	22	3500	0,30
OSB/4	Estrutural	Úmido	5 a 12	12	30	4800	0,40

Sendo U = Umidade, I = Inchamento após 24h, MOR = Módulo de resistência à flexão estática, MOE = Módulo de elasticidade e TP = Resistência à Tração Perpendicular. Requisitos para faixa de espessura nominal entre 6 e 10mm segundo a EN 300 (EUROPEAN..., 2002).

Fonte: Acervo da autora.

Portanto, se compararmos os resultados obtidos nos painéis produzidos na segunda etapa desta pesquisa com PU com os valores determinados na EN 300 (EUROPEAN..., 2002), podemos observar que as propriedades de umidade e inchamento obtidas nesta pesquisa atendem os requisitos normativos Europeus para todos os tipos de painéis OSB, enquanto que, com relação às propriedades mecânicas determinadas, os valores obtidos para MOR e TP encontram-se superiores ao determinado para todos os tipos de painéis OSB (incluindo painéis para fins estruturais e estruturais especiais para ambientes secos e úmidos), enquanto que o MOE superou apenas o determinado para painéis OSB/1 (Placas para usos gerais e placas para componentes interiores, incluindo mobiliário, utilizadas em ambiente seco).

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com os ensaios para determinação das propriedades mecânicas dos painéis, verificou-se a viabilidade de confecção de painéis de partículas produzidos com 60% de partículas de resíduos de eucalipto e 40% de partículas de bagaço de cana, utilizando-se na proporção de 10%, dois tipos de adesivos, Poliuretano à base de óleo de mamona e Ureia-formaldeído.

Devido à substituição da madeira pelos materiais residuais foi possível obter um novo produto com menor impacto ambiental se comparado com os painéis comerciais disponíveis no mercado brasileiro.

O peneiramento do bagaço de cana-de-açúcar para seleção das partículas mostrou-se mais adequado do que o processamento em moinho de facas, garantindo economia financeira e energética.

Os resultados apresentados para ambos os adesivos mostram-se compatíveis com a literatura de referência, superando em sua maioria os valores mínimos exigidos pelo instrumento normativo NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) para painéis do tipo P4 e com relação ao adesivo PU-Mamona, superou-se em sua maioria também os requisitos para painéis do tipo P6. Ainda para os painéis produzidos com PU-Mamona, atingiu-se também valores próximos ou superiores aos definidos para painéis OSB pela norma Europeia EN 300 (EUROPEAN..., 2002).

Em relação as densidades dos painéis dos dois tratamentos, verificou-se que superaram os limites estabelecidos pela NBR 14810-1 (ABNT, 2013a). Todavia, com exceção dos resultados obtidos para o inchamento dos painéis produzidos com UF, todas as demais propriedades físicas dos dois tratamentos (UF e PU-Mamona) encontram-se de acordo com os limites estabelecidos pela NBR, considerando-se Painéis estruturais para uso em condições secas do Tipo P4.

Se comparados os aglutinantes, o PU-Mamona apresentou maior eficiência, pois além de atingir melhores resultados mecânicos quando comparado à resina UF, ainda apresentou melhores resultados com relação à resistência ao inchamento, cujo resultado para a resina UF não foi adequado. Como vantagens do adesivo PU-Mamona, podemos citar também a eficiência energética, onde necessitou-se de uma

menor temperatura de prensagem para o adesivo PU e o fato de ser dispensada a necessidade de secagem em estufa, atingindo-se facilmente o teor de umidade adequado apenas expondo as partículas ao sol. Além destas, outra característica importante está relacionada ao fato de que o adesivo PU-Mamona não emite vapores de formaldeído, o que o torna menos poluente.

Quanto aos painéis produzidos com 10% de resina UF verificou-se que não atingiram resistência adequada ao inchamento, de acordo com o documento normativo NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), contudo, os resultados obtidos para as outras propriedades comprovam a sua eficiência para uso em condições secas.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão de continuidade da pesquisa sugere-se utilizar outras proporções de adesivo para verificar a relação entre a porcentagem de utilização e a eficiência, principalmente no que se relaciona à resistência ao Inchamento. Recomenda-se também avaliar a utilização de partículas com menores porcentagens de umidade para produção de painéis com o adesivo ureia-formaldeído.

Indica-se que sejam estudadas as porcentagens de 50% de bagaço de cana-de-açúcar e 50% de resíduos de eucalipto, assim como 45% de bagaço de cana-de-açúcar e 55% de resíduos de eucalipto para a produção de painéis aglomerados.

Recomenda-se efetuar uma análise por amostragem da porcentagem de bagaço residual não utilizada, resultante da seleção das partículas de dimensões adequadas após peneiramento do material.

Propõe-se avaliar o coeficiente de “esbeltez” e verificar a razão de compactação para melhorar as propriedades possibilitando maior correlação entre os parâmetros.

Sugere-se também que seja efetuada uma análise qualitativa comparativa, através de imagens de microscopia eletrônica de varredura, para avaliação da adesão entre as partículas dos painéis produzidos com UF e com PU-Mamona.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 248:** agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9939:** agregados: determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1:** painéis de partículas de média densidade: parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810-2:** painéis de partículas de média densidade: parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15316-2:** painéis de fibras de média densidade. parte 2: requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2015.

AKINYEMI, A. B.; AFOLAYAN, J. O.; OLUWATOBI, E. O. Some properties of composite corn cob and sawdust particle boards. **Construction And Building Materials**, Guildford, v. 127, p. 436-441, nov. 2016.

ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO FILHO, L. G. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 113-118, mar. 2007.

ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M. 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 - EMBRAMEM, 14., 2014, Natal. **Anais...** Natal: Embramem, 2014. p. 1-10.

BARROS FILHO, R. M. et al. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops And Products**, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 369-373, mar. 2011.

BELINI, U. L. et al. Pilot study for MDF manufacture from sugarcane bagasse and eucalyptus fibers. **European Journal Of Wood And Wood Products**, Berlin, v. 70, n. 4, p.537-539, 17 set. 2011.

BELONE, I. A. **Caracterização físico:** mecânica de Painel de MDP Produzido com madeira de Eucalipto e Bracatinga. 2010. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista - UNESP, Itapeva, 2010.

BENETTO, E.; BECKER, M.; WELFRING, J. Life Cycle Assessment of Oriented Strand Boards (OSB): from Process Innovation to Ecodesign. **Environmental Science & Technology**, Easton, v. 43, n. 15, p. 6003-6009, ago. 2009.

BERTOLINI, M. S. **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 em Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados**. 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. Production and Characterization of MDF Using Eucalyptus Fibers and Castor Oil-based Polyurethane Resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 7, n. 3, p. 421-425, 2004.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, [S. l.], v. 19, p. 47-53, 2009.

CARVALHO, S. T. M. et al. Thermal properties of chipboard panels made of sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum* L). **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 5, p. 1183-1189, 5 jul. 2013.

CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 f. Tese (Doutorado em Agonomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Resíduos Sólidos**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/>>. Acesso em: 18 out. 2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**: v. 4 - safra 2017/18 n.1: primeiro levantamento. Brasília, DF, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Florestas plantadas: oportunidades e desafios da indústria de base florestal no caminho da sustentabilidade**. Brasília, DF, 2017.

CRUZ, S. H. **Processos de moagem e difusão para a extração do caldo da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ / USP, 2017.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative Castor Oil-Based Polyurethane Adhesive Used in the Production of Plywood. **Materials Research**, São Carlos, v. 7, n. 3, p.413-420, 2004.

DIAS, F. M. **Aplicação de adesivo poliuretano à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2004. 116 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo - USP, São Carlos, 2005a.

DIAS, F. M. et al. Relation between the compaction rate and physical and mechanical properties of particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 8, n. 3, p.329-333, 2005b.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. São Carlos: SET-EESC-USP, 2008. Produtos Derivados de Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira.

DINHANE, F. C. R. **Propriedades físico-mecânicas de painéis de MDP (Medium Density Particleboard) constituído de bambu e fibra de coco**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Unesp, Bauru, 2016.

ELDORADO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade 2016**. Três Lagoas: Assertiva Mindfulness Editora e Treinamentos, 2016.

ELEOTERIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Madeiras) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cana-de-açúcar: outros produtos**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_108_22122006154841.html#>. Acesso em: 31 maio 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 300: Oriented Strand Boards (OSB): definitions, classification and specifications**. Brussels, 2002.

EUCATEX. **MDP Eucatex**: Botucatu: Marketing.industria, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Forest products: yearbook annuaire: forest products 2010-2014**. Rome: Forestry Policy And Resources Division Fao, 2016.

FIORELLI, J. *et al.* Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona - produção e propriedades. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p.401-406, 20 set. 2011.

FIORELLI, J. et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops And Products**, [S. l.], v. 40, p. 69-75, nov. 2012.

FIORELLI, J. *et al.* Sugarcane bagasse and castor oil polyurethane adhesive-based particulate composite. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 2, p.439-446, abr. 2013.

FIORELLI, J. *et al.* Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, [S. l.], v. 21, n. 5, p.3269-3277, 15 ago. 2014a.

FIORELLI, J. *et al.* Particleboards with waste wood from reforestation. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 36, n. 2, p.251-256, 4 abr. 2014b.

FIORELLI, J. *et al.* Manufacture of particleboard based on cement bag and castor oil polyurethane resin. **Construction And Building Materials**, Guildford, v. 87, n. 1, p. 8-15, jul. 2015.

GARZÓN-BARRERO, N. M. *et al.* Evaluation of mold growth on sugarcane bagasse particleboards in natural exposure and in accelerated test. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 115, p. 266-276, nov. 2016.

GELDERMANN, J. *et al.* Improved resource efficiency and cascading utilisation of renewable materials. **Journal Of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 110, p.1-8, jan. 2016.

GONÇALVES, D. S. *et al.* UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS. **Engevista**, Niterói, v. 15, n. 2, p.148-158, ago. 2013.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. **Painéis de madeira de eucalipto**: estudo de caso de espécies e procedências. 2008. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

HAZRATI-BEHNAGH, M. *et al.* Mechanical and insulating performances of ultralight thick particleboard from sugarcane residues and woods planer shaving. **European Journal of Wood And Wood Products**, Berlin, v. 74, n. 2, p.161-168, 16 nov. 2015.

HEXION. **Boletim técnico**: cascamate MDF 1711. Curitiba: Hexion, 2017. 2 p. (DOC 55-A Rev. 00).

HOAREAU, W. *et al.* Fiberboards based on sugarcane bagasse lignin and fibers. **Macromolecular Materials and Engineering**, [S. l.], v. 291, n. 7, p.829-839, 14 jul. 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **PRODES estima 7.989 km² de desmatamento por corte raso na Amazônia em 2016**. Brasília, DF, 2016.

IWAKIRI, S. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251-256, jan. 2000.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p.39-43, ago. 2005.

IWAKIRI, S. *et al.* Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012.

JIANG, C. *et al.* Formaldehyde and volatile organic compound (VOC) emissions from particleboard: Identification of odorous compounds and effects of heat treatment. **Building and Environment**, Oxford, v. 117, p.118-126, maio 2017.

JOSÉ, F. J. **Chapa de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. Campinas, 2006.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**: General Technical Report FPL-10. Raleigh: Forest Products Laboratory Forest Service U.s. Department Of Agriculture, 1977.

KESKIN, H.; KUCUKTUVEK, M.; GURU, M. The potential of poppy (*Papaver somniferum* Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards. **Construction And Building Materials**, Guildford, v. 95, p. 224-231, out. 2015.

KLÍMEK, P.; WIMMER, R.; MEINLSCHMIDT, P.; KÚDELA, J. Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. **Industrial Crops And Products**, [S. l.], v. 111, p. 270-276, jan. 2018.

LAHR, F. A. R. **Produtos derivados da madeira**. São Carlos: EESC-USP, 2008. 166 p.

LAHR, F. A. R, CHRISTOFORO, A. L. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos: EESC-USP, 2012. 328 p.

LAY, D., G.; CRANLEY, P.. Polyurethane Adhesives. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 688-711.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman Publications, 1977.

MARTON, A. **Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial**. 2014. 69 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2014.

MELO, R. R. *et al.* Physical and mechanical properties of particleboard manufactured from wood, bamboo and rice husk. **Materials Research**, São Carlos, v. 17, n. 3, p. 682-686, 9 maio 2014.

MENDES, R. F. et al. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p.285-295, 2010.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000.

NEGRÃO, W. H. **Aproveitamento de madeiras tropicais para confecção e avaliação de painéis aglomerados com mistura de partículas e resinas alternativas**. 2013. 47 f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2013.

OLIVEIRA, S. L. et al. Particleboard Panels Made from Sugarcane Bagasse: Characterization for Use in the Furniture Industry. **Materials Research**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 914-922, 18 jul. 2016.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T. **Programa de melhoramento genético de eucalipto da Embrapa Florestas**. Colombo: Embrapa Floresta, 2011.

PAULA, P. G. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, Campos dos Goytacazes, 2011.

PEDRESCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 49 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PIERRE, F. C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos industriais madeireiros**. 2010. 134 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PIZZI, A. Urea-Formaldehyde Adhesives. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 2003. p. 628-646.

REBOLLAR, M.; PÉREZ, R.; VIDAL, R. Comparison between oriented strand boards and other wood-based panels for the manufacture of furniture. **Materials & Design**, Surrey, v. 28, n. 3, p.882-888, jan. 2007.

ROCHA, B. B. **Aproveitamento de resíduos de madeira e bagaço de cana-de-açúcar na produção e avaliação de painéis aglomerados**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2016.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas "OSB"**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANCHEZ, E. M. S. et al. Compósito de resina de poliéster insaturado com bagaço de cana-de-açúcar: influência do tratamento das fibras nas propriedades. **Polímeros**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 194-200, 2010.

SANTAROSA, E. *et al.* **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SANTOS, M. F. N. *et al.* Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 64, p. 345-355, fev. 2014.

SARTORI, D. L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, S. A. M. **Confecção e avaliação de painéis de partículas de madeira de média densidade com aproveitamento de resíduos industriais**. 2016. 92 f. Tese (Livre-docência em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista - Unesp, Ilha Solteira, 2016.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. **Boletim SNIF 2016**. 2. ed. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2016a. v. 1.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - SNIF. **Boletim SNIF 2016**. 2. ed. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2016b. v. 2

TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Composites Part B: Engineering**, [S. l.], v. 42, n. 5, p.1330-1335, jul. 2011.

VARANDA, L. D. et al. Oat hulls as addition to high density panels production. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 6, p. 1355-1361, 13 ago. 2013.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia de poliuretanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2004.

WINANDY, J. E.; MORRELL, J. J. Improving the utility, performance, and durability of wood- and bio-based composites. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 74, n. 1, p.1-11, mar. 2017.