



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA LAURA SOLER CUNHA BUZO

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE
PINUS E BAGAÇO DE CANA EMPREGANDO-SE UREIA
FORMALDEIDO E POLIURETANO À BASE DE MAMONA**

Ilha Solteira
2018

ANA LAURA SOLER CUNHA BUZO

**PAINÉIS AGLOMERADOS PRODUZIDOS COM PARTÍCULAS DE
PINUS E BAGAÇO DE CANA EMPREGANDO-SE UREIA
FORMALDEIDO E POLIURETANO À BASE DE MAMONA**

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

Prof. Dr. SÉRGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

Orientador

Ilha Solteira
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

B992p Buzo, Ana Laura Soler Cunha.
Painéis aglomerados produzidos com partículas de pinus e bagaço de cana empregando-se ureia formaldeído e poliuretano à base de mamona / Ana Laura Soler Cunha Buzo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2018
82 f. : il.

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

Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva
Inclui bibliografia

1. Painéis aglomerados. 2. Bagaço de cana-de-açúcar. 3. *Pinus taeda*. 4. *Pinus elliottii*. 5. Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. 6. Resina ureia-formaldeído.


Raiane da Silva Santos

Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PAINÉIS DE PARTÍCULAS DE PINUS E BAGAÇO DE CANA CONFECCIONADOS COM UREIA FORMALDEIDO E POLIURETANA DE MAMONA

AUTORA: ANA LAURA SOLER CUNHA BUZO

ORIENTADOR: SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

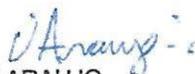
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em ENGENHARIA CIVIL, área: ESTRUTURAS pela Comissão Examinadora:



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. VICTOR ALMEIDA DE ARAUJO
Grupo de pesquisa LIGNO / Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva

Ilha Solteira, 27 de julho de 2018

AGRADECIMENTOS

Primeiramente para Deus por ter me concedido sua graça, dando-me vida e saúde até o presente momento, pois por Sua graça e através de Sua palavra, é que tenho o sustento e a orientação necessária para continuar trilhando o caminho que me foi proposto.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro que tornou possível o desenvolvimento do trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva, pela confiança, dedicação e orientação durante o período de desenvolvimento do trabalho.

À professora Dra. Elen Aparecida Martines Morales e à professora Dra. Cristiane Inácio de Campos, do campus de Itapeva da UNESP, juntamente com o técnico Juliano Brito, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à UNESP do campus de Bauru e aos seus funcionários, o professor Dr. Maximiliano dos Anjos Azambuja e o técnico Israel.

Aos técnicos de laboratório Flávio Rogério Porato, Gilson Campos Correa, Natália Antoniali. Mário Roberto Correa Ferreira e Ozias da Silva Porto, agradeço a colaboração e a ajuda nas atividades de pesquisas.

Ao meu marido Ricardo Fonseca Buzo, aos meus pais Vânia Michaela Tavares Soler Cunha e Marcelo Gesteira da Silva Cunha e a minha avó Eunice Tavares Soler, pelo amor, companheirismo, incentivo e suporte para esta realização.

Agradeço às amigas Raissa Pravatta Pivetta e Estéfani Suana Sugahara pela grande contribuição para que a realização deste trabalho fosse possível, pelo cumplicidade, suporte e bons momentos que passamos juntas.

.

RESUMO

O desenvolvimento de estudos para produção de derivados de madeira tem representado uma real alternativa para contribuir as políticas de sustentabilidade, principalmente de espécies arbóreas nativas. Nesse contexto, o reaproveitamento de resíduos lignocelulósicos tem contribuído como uma alternativa para a produção industrial de painéis de madeira. Dentro desse contexto este trabalho se constitui do estudo para produção e avaliação de painéis aglomerados, empregando-se partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e partículas de madeira de pinus (*Pinus taeda*; *Pinus elliottii*) e utilizando-se dois tipos de aglutinantes, o Poliuretano derivado do óleo de mamona (PU-M) e a Resina Ureia-formaldeído (UF). Para produção dos painéis foram propostos diferentes tratamentos com variações entre as proporções de massas das partículas, densidade nominal dos painéis de 0,80 g/cm³ e pressão de prensagem de 50 kgf/cm² durante 10 min. As misturas de partículas foram utilizadas com 10% de umidade para o adesivo PU-M e 3% de umidade para a resina UF ambos com um conteúdo de 10% em relação à massa seca das partículas. Para prensagem dos painéis com PU-M empregou-se 100 °C e para os painéis com UF 130 °C. Os painéis foram submetidos a ensaios para avaliação das propriedades físicas (densidade, umidade e inchamento) e mecânicas (módulo de elasticidade, módulo de ruptura à flexão e tração perpendicular) de acordo com a ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013). Os resultados obtidos evidenciaram ser possível a utilização das partículas provenientes do bagaço de cana e de pinus para a produção de painéis aglomerados de alta densidade. Verificou-se que os painéis produzidos com o poliuretano apresentaram maior eficiência e suas propriedades físicas e mecânicas encontram-se compatíveis com os requisitos da Norma Brasileira para painéis do tipo P6 - Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas. Entretanto, verificou-se que os painéis produzidos com UF podem ser classificados como painéis do Tipo P2 - Painéis não estruturais para uso em condições secas.

Palavras-chave: Painéis aglomerados. Bagaço de cana-de-açúcar. *Pinus taeda*. *Pinus elliottii*. Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Resina ureia-formaldeído. MDP.

ABSTRACT

The development of studies for the production of wood derivatives has represented a real alternative to improve sustainability policies, mainly of native tree species. In this context, the reuse of lignocellulosic waste has contributed as an alternative to the industrial production of wood panels. This way, this work aims to produce and evaluate chipboards using particles of sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum*) and particles of pine wood (*Pinus taeda*; *Pinus elliottii*) and using two types of binders, the Polyurethane derived from castor oil (PU-Castor) and Urea formaldehyde resin (UF). Different treatments were proposed for the production of boards with variations between the particle mass ratios, panels' nominal density of 0.80 g/cm³ and pressing pressure of 50 kgf/cm² for 10 minutes. Particle mixtures were used at 10% moisture for the PU-Castor adhesive and 3% moisture for the UF resin both with a content of 10% relative to the dry mass of the particles. For the pressing of panels with PU-Castor was used 100 °C and of panels with UF was used 130 °C. The boards were submitted to tests to evaluate the physical properties (density, moisture and swelling after 24 hours) and mechanical (modulus of elasticity, modulus of resistance to bending and perpendicular traction) according to the ABNT NBR 14810-1 and 2 (2013). The results showed that it is possible to use particles from sugarcane bagasse and pine wood for high density chipboards production. It was found that the boards produced with polyurethane presented higher efficiency and their physical and mechanical properties are compatible with the requirements of Brazilian Standard Regulations for P6 boards (Structural boards for use under severe load conditions for dry conditions use). However, it has been found that panels made with UF can be classified as type P2 panels – Non-structural boards for dry conditions use.

Keywords: Agglomerated panels. Sugar cane bagasse. *Pinus taeda*. *Pinus elliottii*. Polyurethane adhesive based on castor oil. Urea formaldehyde resin. MDP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção mundial de painéis de madeira	16
Figura 2 - <i>Medium Density Particleboard</i> (MDP) com suas três camadas definidas	18
Figura 3 - Distribuição das partículas dos painéis MDP	18
Figura 4 - Consumo per capita de MDP em 2012 (m ³ /1000 hab.)	21
Figura 5 - Processo de produção do MDP	22
Figura 6 - Partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....	36
Figura 7 - Partículas de <i>Pinus taeda</i> e <i>Pinus elliottii</i>	37
Figura 8 – Adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona: (a) Pré-polímero; (b) Polioliol..	37
Figura 9 - Resina ureia-formaldeído, Cascamit MDF-1711: (a) rótulo; (b) resina	38
Figura 10 - Misturador mecânico e/ou encoladeira de tambor	39
Figura 11 - Formadora de colchão.....	40
Figura 12 - Prensa hidráulica.....	40
Figura 13 - Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.	41
Figura 14 - Secagem do material no pátio do Laboratório de Construção Civil da UNESP-Ilha Solteira.....	43
Figura 15 - Agitador de peneiras.	44
Figura 16 - Conjunto de peneiras e agitador utilizado para realização do ensaio para determinação da composição granulométrica.....	45
Figura 17 – Composição granulométrica das partículas de <i>Pinus spp</i>	45
Figura 18 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar da etapa preliminar	45
Figura 19 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de açúcar da etapa principal.....	47
Figura 20 - Processo de homogeneização manual do adesivo: (a) Adição do adesivo; (b) Homogeneização manual.....	49
Figura 21 - Preparação do colchão de partículas: (a) Acomodação das partículas na formadora de colchão; (b) Pré prensagem manual com 5 t; (c) Colchão de partículas pronto para ser compactado em prensa com controle de temperatura e pressão	50
Figura 22 - Preparação de um painel aglomerado: (a) compactação do painel; (b) painel logo após a compactação	51
Figura 23 - Pontos de medição no corpo de prova	52

Figura 24 - Aferição das dimensões dos corpos de prova para determinação das densidades: (a) Determinação da massa; (b) Determinação do comprimento e da largura utilizando-se paquímetro; (c) Determinação da espessura utilizando-se micrômetro.....	53
Figura 25 - Corpos de prova submersos em água deionizada	54
Figura 26 – Corpos de prova retirados da água para realização das medições: (a) vista lateral; (b) vista frontal	54
Figura 27 – Corpos de prova em processo de secagem.....	55
Figura 28 - Corpo de prova de flexão durante a execução do ensaio	56
Figura 29 - Ensaio de tração perpendicular: (a) Aspectos gerais do ensaio de tração perpendicular; (b) Aspectos gerais do corpo de prova com o suporte metálico após ruptura..	57
Figura 30 - Aspectos gerais da delaminação dos painéis	59
Figura 31 – Análise da normalidade para a densidade aparente: (a) Tratamento com PU-M (T _{2,2}); (b) Tratamento com UF (T _{4,2})	63
Figura 32 - Análise da normalidade para o inchamento após 24h: (a) Tratamento com PU-M (T _{2,2}); (b) Tratamento com UF (T _{4,2})	65
Figura 33 - Análise da normalidade para o MOR: (a) Tratamento com PU-M (T _{2,2}); (b) Tratamento com UF (T _{4,2})	67
Figura 34 - Análise da normalidade para o MOE: (a) Tratamento com PU-M (T _{2,2}); (b) Tratamento com UF (T _{4,2})	69
Figura 35 - Análise da normalidade para a TP	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Maiores consumidores de painéis de madeira no mundo em 2012.....	20
Tabela 2 - Maiores produtores de painéis de madeira no mundo em 2012.....	22
Tabela 3 – Requisitos gerais dos painéis de partícula de média densidade (MDP)	24
Tabela 4 – Parâmetros normativos dos painéis de partícula de média densidade (MDP).....	24
Tabela 5 - Propriedades do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona	38
Tabela 6 - Propriedades do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona	38
Tabela 7 - Propriedades da resina ureia-formaldeído.....	39
Tabela 8 - Tratamentos propostos para produção dos painéis da etapa preliminar.....	41
Tabela 9 - Tratamentos propostos para produção dos painéis definitivos.....	42
Tabela 10 - Valores de densidade aparente	58
Tabela 11 - Percentuais de umidade e inchamento após 24h	59
Tabela 12 - Valores de MOR, MOE e TP	60
Tabela 13 - Valores da densidade aparente	62
Tabela 14 - Valores do teor de umidade.....	64
Tabela 15 – Valores do percentual de inchamento após 24h	64
Tabela 16 - Valores do módulo de resistência à flexão estática.....	66
Tabela 17 - Valores do módulo de elasticidade na flexão estática.....	68
Tabela 18 - Valores de resistência à tração perpendicular (TP).....	69
Tabela 19 – Propriedades físico-mêcanicas.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Painéis à base de madeira	13
2.2	Painéis de madeira aglomerada.....	15
2.2.1	<i>Painéis de partículas de materiais lignocelulósicos</i>	16
2.2.2	<i>Definição e características gerais.....</i>	17
2.2.3	<i>Panorama e perspectiva</i>	19
2.2.4	<i>Processo de produção</i>	22
2.2.5	<i>Classificação e requisitos normativos das propriedades físico/mecânicas</i>	23
2.2.6	<i>Influência das variáveis nas propriedades dos painéis</i>	25
2.2.7	<i>Aplicabilidade e avaliações relevantes</i>	28
2.3	Resinas Ureia-formaldeído (UF) e Poliuretano de mamona (PU-M) na produção de painéis	29
2.4	Bagaço de cana-de-açúcar.....	30
2.5	Pesquisas relevantes sobre painéis MDP com o emprego de bagaço-de-cana-de-açúcar e/ou com emprego da resina poliuretana à base de mamona.....	32
3	OBJETIVO.....	35
3.1	Objetivo Geral	35
3.2	Objetivos específicos.....	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1	Materiais	36
4.2	Metodologia	41
4.2.1	<i>Definição dos tratamentos</i>	41
4.2.2	<i>Preparação das partículas</i>	43
4.2.3	<i>Procedimentos para produção dos painéis</i>	48
4.3	Ensaio s	51

4.3.1	<i>Determinação da densidade</i>	52
4.3.2	<i>Determinação do inchamento 24h</i>	53
4.3.3	<i>Determinação da umidade</i>	54
4.3.4	<i>Determinação da Resistência à Flexão Estática (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)</i>	55
4.3.5	<i>Determinação da Resistência à Tração Perpendicular ou Adesão Interna</i>	56
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
5.1	Avaliação das propriedades dos painéis da etapa preliminar	58
5.1.1	<i>Propriedades físicas</i>	58
5.1.2	<i>Propriedades mecânicas</i>	60
5.2	Considerações sobre os resultados obtidos na etapa preliminar	60
5.3	Avaliação das propriedades dos painéis da etapa principal	61
5.3.1	<i>Propriedades físicas</i>	62
5.3.2	<i>Propriedades Mecânicas</i>	65
5.3.3	<i>Análise comparativa dos resultados</i>	70
6	CONCLUSÃO	73
7	SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS	75
	REFERÊNCIAS	76

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos bens naturais existentes mais antigos, com características amplamente exploradas pela humanidade, estando presente em todos os povos e culturas, desde aqueles mais primitivos aos mais tecnologicamente avançados (SILVA, 2015). Entretanto, seu uso promoveu uma excessiva exploração das florestas nativas, sem a preocupação com a reposição florestal e com o emprego de planos de manejo, gerando assim impactos irreversíveis ao meio ambiente.

Dentro desse contexto, os problemas ambientais, resultantes da exploração florestal, nunca antes foram tão discutidos (NEGRÃO, 2013). De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS), o desmatamento no mundo é uma das principais preocupações do século XXI, bem como a extração de bens naturais, principalmente, aqueles não renováveis e os de difícil renovação (MARTON, 2014). Logo, a promoção de meios de produção, distribuição e consumo de recursos existentes de forma economicamente eficaz e ecologicamente correta, tem repercutido em atenção mundial.

O problema com a escassez da madeira no Brasil, resultante de desmatamentos, gerou buscas por soluções e propostas que, a nível ambiental e sustentável, promovem programas e metas para a utilização dos resíduos industriais e agrários (VISNARDI, 2010). O crescimento das áreas de florestas plantadas trata-se de uma proposta que, devido às oportunidades de ampliar o manejo florestal, atende as maiores demandas e, conseqüentemente, contribui também com as ações sustentáveis (SBS, 2009). Essas iniciativas, bem como normas e resoluções, as quais devem ser cumpridas por determinadas instituições, surgem a fim de reduzir os impactos ambientais e gerar melhorias no desempenho ambiental dos processos e produtos.

A geração de resíduos nas indústrias tem apresentado valores significativos, e a vista disso, para não serem simplesmente queimados ou dispensados em locais inadequados, gerando problemas ambientais, passou-se a considerar a sua utilização na cadeia produtiva (ALBERTINI et al., 2007). Além da contribuição ambiental, o aproveitamento de resíduos, objetivando agregar valor ao produto, se tornou uma solução viável para a fabricação de derivados de madeira, como é o caso dos painéis aglomerados que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil (ALVES; SILVA, 2014).

A produção de painéis derivados de madeira com reaproveitamento de resíduos de diferentes origens pode contribuir para o auxílio da demanda de painéis e estimular a produção

de novos materiais, além do que a utilização de resíduos lignocelulósicos contribui para amenizar os impactos ambientais causados pelos mesmos se depositados no solo a céu aberto (CARASCHI et al., 2009).

Uma das preocupações decorrentes dos elementos empregados na composição de painéis aglomerado é a utilização de adesivos à base de formaldeído, pois os mesmos apresentam a liberação de formol (produto tóxico considerado cancerígeno) durante o processo de prensagem dos painéis (ALVES, 2013). Assim, a resina poliuretana derivada do óleo de mamona, por ser oriunda de um produto praticamente renovável e emitir gases não nocivos ao homem durante o processo de fabricação dos painéis, tem representado uma alternativa para a industrialização desses produtos em substituição aos adesivos à base de formaldeído, além de acarretar na redução do consumo de energia, devido a menores temperaturas durante a prensagem dos painéis.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um estudo para produção de painéis aglomerados compostos de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e partículas de madeira de pinus (*Pinus taeda*; *Pinus elliottii*), utilizando-se adesivo poliuretano bicomponente derivado de óleo de mamona (PU-M) em comparação com a produção de painéis empregando-se resina ureia-formaldeído (UF).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Painéis à base de madeira

O primeiro painel de madeira produzido industrialmente no mundo foi o compensado e sua produção teve início no século XIX nos Estados Unidos (EISFELD, 2009). Esses produtos à base de madeira são definidos como sendo compostos de elementos de madeira com lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e, reconstituídos através de ligação adesiva (TORQUATO, 2008). A definição de painéis de madeira, de acordo com o BNDES (2008), também se assemelha a de Torquato (2008), o qual define painéis como compósitos de madeiras em diferentes estágios de desagregação ou em lâminas, que são aglutinadas pela ação de temperatura e pressão, com uso de resinas em alguns casos.

Os painéis de madeira surgiram como consequência da busca feita pelo homem por novos meios de utilizar e aproveitar a madeira, explorando ao máximo o potencial desse material (TORQUATO, 2008). Isso é confirmado por Gay et al. (2001), pois retratam o surgimento dos painéis de madeira por meio da necessidade de inovar a aplicação e o uso da madeira como matéria-prima.

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

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

- Melhor aproveitamento do lenho, melhorando assim desperdícios.
- Diminuição da anisotropia e heterogeneidade características da madeira, gerando um material homogêneo e livre dos defeitos comuns da madeira.
- Utilização de madeiras de rápido crescimento e reflorestamento, possibilitando o uso mais sustentável de matérias-primas.
- Menor variação dimensional.
- Melhoria na resistência à biodeterioração.
- Melhoria das propriedades físicas e mecânicas.

- Emprego de outras partículas de composição química semelhante à da madeira na sua fabricação.

Para a produção de painéis de madeira, podem ser empregados adesivos naturais, adesivos sintéticos termoplásticos e adesivos sintéticos termoendurecedores (termofixos) (IWAKIRI, 2005). Os adesivos naturais podem ser de origem animal, vegetal, amido, éter celulósico e borracha natural. Já os adesivos sintéticos são de fontes não renováveis e apresentam oscilação na disponibilidade e custo, pois dependem das matérias-primas que as compõe, assim como, têm reciclagem limitada do produto final (GONZÁLEZ-GARCIA et al., 2011).

Os adesivos sintéticos termoplásticos e os sintéticos termofixos amolecem e fluem quando submetidos à determinada temperatura e pressão, podendo ser moldados. Porém, os polímeros termofixos adquirem a forma do molde com a formação de ligações cruzadas entre as cadeias e com subsequente solidificação, portanto, novas aplicações de temperatura e pressão não exercem influência no material, tornando os materiais infusíveis, insolúveis e não recicláveis (IWAKIRI, 2005). Conseqüentemente, os adesivos sintéticos termoplásticos possuem como vantagem a possibilidade de remoldagem quando da reaplicação de novas temperaturas e pressões, sendo portanto, recicláveis, enquanto que os termofixos, normalmente apresentam maior resistência ao calor e são amorfos (ISAIA, 2010).

Existem dois tipos de painéis de madeira: aqueles produzidos com base na madeira processada mecanicamente e os feitos de madeira reconstituída (BNDES, 2008), sendo o Brasil um dos países mais avançados na fabricação de painéis de madeira reconstituída (ABIPA, 2010). Apesar das tecnologias de última geração implantadas no Brasil, o mesmo se encontra muito distante de produzir grande variedade de painéis, todavia, possui potencial para atingir grandes metas.

Os painéis de madeira processada mecanicamente são os compensados, os laminados de madeira e o EGP - *Edge Glued Panel* (painel colado lateralmente). São formados por camadas de lamelas ou sarrafos de madeira maciça e, devido suas características tecnológicas, a aplicabilidade não se limita apenas à fabricação de móveis e embalagens, mas também como componentes estruturais de paredes, pisos e coberturas de edificações como a viga em perfil “I” (PEDROSA et al., 2005).

Já os painéis de madeira reconstituída são as chapas de fibra, o OSB - *Oriented Strand Board* (painel de tiras orientadas), o MDF - *Medium density Fiberboard* (painel de fibra de média densidade) e o MDP - *Medium Density Particleboard* (painel de partículas de média densidade). Essa variedade de painel é fabricada com base no processamento químico da

madeira, que passa por diferentes processos de desagregação (MATTOS et al., 2008). Esses painéis surgiram como alternativa ao uso de madeiras maciças na metade do século XX, e devido à escassez madeireira resultantes do desmatamento das florestas, passaram a ser largamente consumidos no Brasil, a partir da metade da década de 1990, quando os fabricantes de painéis de fibra de média densidade (MDF) e de painéis de partículas de média densidade (MDP) modernizaram-se e ampliaram o setor, atraindo assim novos investidores.

2.2 Painéis de madeira aglomerada

Os painéis aglomerados surgiram na Alemanha, no início da década de 1940 para viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face à dificuldade de obtenção de madeira de boa qualidade para produção de lâminas para compensados, como resultado do isolamento do país durante a Segunda Guerra Mundial (IWAKIRI, 2005).

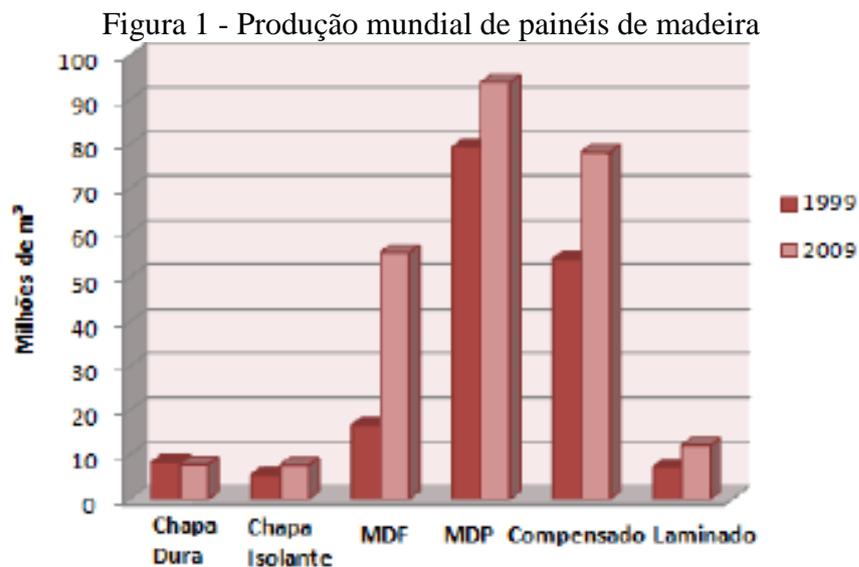
A produção de painéis de madeira aglomerada no Brasil teve início em 1966 em Curitiba-PR. Em 1970, surgiu uma fábrica localizada em Taquari (RS), na mesma década, foram instaladas mais fábricas, as do grupo nacional Peixoto de Castro (Madeplan e Alplan) e as do grupo alemão Freundemberg, que em 1984 foram compradas pela Duratex (ABIPA, 2010).

A partir da metade da década de 1990, em virtude dos investimentos em modernização tecnológica das empresas brasileiras, o processo de prensagem dos painéis que era cíclico passou a ser contínuo, conferindo ao produto melhores características de resistência. Dessa forma, ocorreu a modificação da nomenclatura de aglomerado para MDP (*medium density particleboard*), sendo uma tentativa para dissociar o novo produto do aglomerado tradicional. Porém, a sigla MDP, ainda é referenciada frequentemente pelo termo aglomerado em algumas fontes bibliográficas e também na indústria (TRIANOSKI, 2010).

Com a nova tecnologia de produção, as antigas fábricas se modernizaram e ampliaram sua capacidade concomitantemente ao surgimento de novos participantes como a Eucatex, em 1996 e em 1998 a Tafisa, empresa do grupo português Sonae (MATTOS et al., 2008) e os painéis de madeira aglomerada passaram a apresentar características de melhor resistência ao arrancamento de parafusos, menor absorção de umidade e empenamento. Desde então, o número de unidades produtoras de painéis aglomerados ampliou, representando durante o período de 2000 a 2007, um aumento de 45,1% (SBS, 2008). A capacidade nominal instalada brasileira do *Medium Density Particleboard* (MDP), passou de 2.800.000 m³ em 2005 para

4.790.000 m³ em 2012, representando, aproximadamente 71% de crescimento em 7 anos (ABIPA, 2013).

Os painéis aglomerados, dentre os produtos à base de madeira, vêm apresentando uma das maiores taxas de crescimento, tanto mundialmente, quanto nacionalmente, devido à facilidade nas aplicações para diversos fins e a quantidade de produtos disponíveis (BERTOLINI, 2011). Na Figura 1 verifica-se o gráfico que apresenta números produtivos do setor de painéis, destacando-se os MDPs.



Fonte: FAO (2010).

Em razão da demanda por produtos de madeira ter aumentado consideravelmente ano a ano, houve um aumento das áreas de reflorestamento com espécies de crescimento rápido (MORENO; SARON, 2017). As indústrias brasileiras de painéis de partículas têm usado uma grande quantidade de madeira de reflorestamento, como *Pinus spp* e *Eucalyptus spp*. De acordo com Santos *et al.* (2009) e Mendes *et al.* (2010), cinquenta por cento das indústrias de aglomerado usam madeira de baixa densidade como principal matéria-prima, e os outros usam mais de uma espécie de madeira nas linhas de produção.

2.2.1 Painéis de partículas de materiais lignocelulósicos

Nos últimos anos, as indústrias de construção e móveis exigiram painéis de aglomerado com alta durabilidade e características sustentáveis (KUSUMAH *et al.*, 2017). Assim, os painéis foram produzidos priorizando as altas propriedades mecânicas e específicas resistência e rigidez mediante a prensagem de materiais lignocelulósicos, uma vez que a composição química dos

materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira, preservando assim os recursos naturais (CRAVO *et al.*, 2015).

Frequentemente, segundo Silva *et al.* (2017), as madeiras reflorestadas não têm atingido os requisitos para painéis de partículas estruturais. Desse modo, em vez de aumentar áreas de reflorestamento, tem sido considerado, para substituir a madeira sem perda de qualidade, o aproveitamento de resíduos agroindustriais.

Ainda de acordo com Silva *et al.* (2017), além da geração de resíduos lignocelulósicos das indústrias agroindustriais brasileiras, como casca de café, sabugo de milho, casca de arroz, casca de amendoim, casca de coco, casca de mamona, bagaço de cana-de-açúcar, entre outros, ser considerada promissora, como fontes paralelas de matéria-prima, para atender crescente demanda de mercado de aglomerado, uma redução no uso de madeira de reflorestamento também pode contribuir para produtos mais baratos.

2.2.2 Definição e características gerais

De acordo com Bertolini (2011), Iwakiri (2005), Maloney (1993) e Moslemi (1974), os aglomerados são conceituados como painéis produzidos com partículas de madeira, os quais incorporam resinas sintéticas ou outros adesivos, consolidados por meio de um ciclo de prensagem aplicando-se temperatura e pressão constantes. 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 da maioria dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira.

O *Medium Density Particleboard* (MDP), uma evolução do aglomerado em termos de processo produtivo e qualidade do produto final, é definido de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) como um painel de partículas de média densidade, 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.

Geralmente, os painéis MDP são fabricados em três camadas, sendo as duas camadas de superfície constituídas de partículas com menores dimensões, e a camada interna do painel, formada por partículas maiores (SILVA, 2012), como é ilustrado na Figura 2.

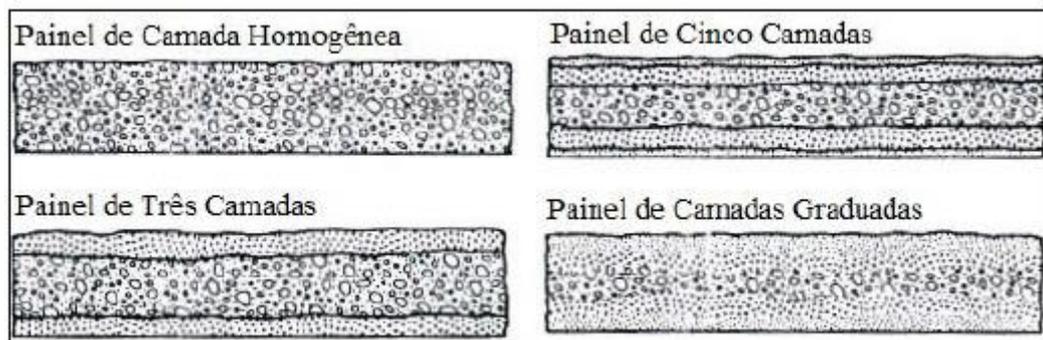
Figura 2 - *Medium Density Particleboard* (MDP) com suas três camadas definidas



Fonte: Silva (2012).

Entretanto, de acordo com Moslemi (1974), a distribuição das partículas dos painéis MDP pode ser também em várias camadas separadas segundo a distribuição granulométrica, como é ilustrado através da Figura 3.

Figura 3 - Distribuição das partículas dos painéis MDP



Fonte: Adaptado de Moslemi (1974).

A granulometria das partículas, os aglomerantes e a pressão exercida na compactação dos painéis aglomerados, durante a produção, caracterizam e diferenciam os tipos de painéis aglomerado e suas características físico-mecânicas finais (BAUER, 1999 *apud.*, ROCHA, 2016).

De acordo com a Eucatex (2007), as principais características dos painéis do MDP são:

- Alta densidade das camadas superficiais, assegurando um acabamento superior nos processos de impressão, pintura e revestimentos;
- Produção com o conceito de três camadas, isto é, colchão de partículas no miolo e camadas finas nas superfícies;
- Homogeneidade e grande uniformidade das partículas das camadas externas e interna;

- Propriedades mecânicas superiores, ou seja, melhor resistência ao arrancamento de parafuso, menor absorção de umidade e empenamento;
- Utilização de resinas especiais de última geração;
- Utilização de madeiras selecionadas provenientes de florestas plantadas, econômica e ecologicamente sustentáveis.

Os painéis de partícula de média densidade podem ser comercializados revestidos *ou In natura* (sem revestimento). Suas características admitem revestimentos em suas faces como plástico, laminados melamínicos e pinturas, devendo ser material que resista ao desgaste, temperatura alta, água fervente e produtos químicos (PETRUCCI, 1998). Também admitem que o mesmo possa ser encontrado sem revestimento para aplicação de lâminas de madeira, laminados de alta pressão ou pintura e impressão. Atualmente, há três maneiras de revestimento, que empregam padrões madeireiros ou em cores:

- Revestimento melamínico tipo Baixa Pressão (BP): por meio de temperatura e pressão, uma lâmina celulósica impregnada com resina melamínica é fundida ao MDP, resultando em um painel pronto para uso. Podem ser apresentadas com cores sólidas, amadeiradas ou fantasia;
- Revestimento celulósico tipo “*Finish Foil*” (FF): a lâmina celulósica especialmente envernizada é laminada sobre o MDP, por meio de processo de laminação ou prensagem e alta temperatura. Podem ser oferecidas nos padrões unicolor, amadeirados e fantasias com ótimo desempenho e pronto para uso em móveis. Algumas empresas ainda oferecem outras opções de acabamento com vernizes em alto brilho;
- Revestimento de lâmina de madeira natural (LM): lâmina fina de madeira serrada obtida pelo processo de laminação de toras de madeira de espécies nativas ou exóticas, as quais são coladas por prensagem geralmente sem ação de calor.

2.2.3 *Panorama e perspectiva*

Sob o ponto de vista do consumo, a demanda brasileira por painéis de madeira reconstituída vem apresentando crescimento acelerado, acima do Produto Interno Bruto (PIB) e da construção civil, especialmente o *Medium Density Fiberboard* (MDF) e o *Medium Density Particleboard* (MDP) (VIDAL; HORA, 2014). O crescimento acelerado do consumo MDF e

do MDP ocorreu devido às condições macroeconômicas que resultaram na substituição de madeira serrada e dos compensados, pelos produtos à base de madeira reconstituída.

De acordo com Bertolini (2011), entre as diferentes variedades de painéis que foram citados neste trabalho, os painéis de partículas de média densidade (MDP) são os mais consumidos no mundo. Na Tabela 1, o Brasil surge como oitavo maior consumidor de painéis de madeira do mundo, representando assim, 2,9% do mercado, com um potencial para um crescimento evidente, pois, dos dez maiores consumidores, é o que registrou o menor consumo per capita (42 m³ por mil habitantes), contudo, ainda acima do consumo no restante da América do Sul, o qual é 18 m³ por mil habitantes (VIDAL e HORA, 2014). O baixo consumo de painéis por habitante, mostra como o uso desses produtos preserva mais relação com padrões culturais, hábitos e oferta local do que com desenvolvimento econômico.

Tabela 1 - Maiores consumidores de painéis de madeira no mundo em 2012

País	Chapa de fibra (mil m ²)	Insulating board (mil m ²)	MDF (mil m ²)	MDP (mil m ²)	Compensados (mil m ²)	Total painéis (mil m ²)	Participação (%)	Painéis per capita (m ³ /ano/mil habitantes)	População (mil habitantes)
China	6.273	131	47.261	13.156	34.920	101.741	35,5	73,9	1.377.065
EUA	330	4.848	2.344	18.449	11.994	37.964	13,3	119,6	317.505
Rússia	1.038	28	1.834	7.206	1.761	11.867	4,1	82,9	143.170
Alemanha	1.146	1.552	606	7.276	1.215	11.795	4,1	142,5	82.800
Japão	54	387	784	1.441	6.101	8.767	3,1	68,9	127.250
Turquia	248	(16)	3.955	4.108	255	8.550	3,0	115,6	73.997
Canadá	202	569	602	3.734	3.166	8.274	2,9	237,5	34.838
Brasil	277	61	3.654	3.168	1.111	8.270	2,9	41,6	198.656
Polônia	24	156	1.808	5.061	406	7.455	2,6	195,1	38.211
França	152	164	1.185	3.420	577	5.498	1,9	86,0	63.937
Demais países	3.955	1.731	16.573	31.433	22.511	76.203	26,6	16,6	4.600.657
Mundo	13.698	9.612	80.606	98.452	84.017	286.385	100,0	40,6	7.058.086

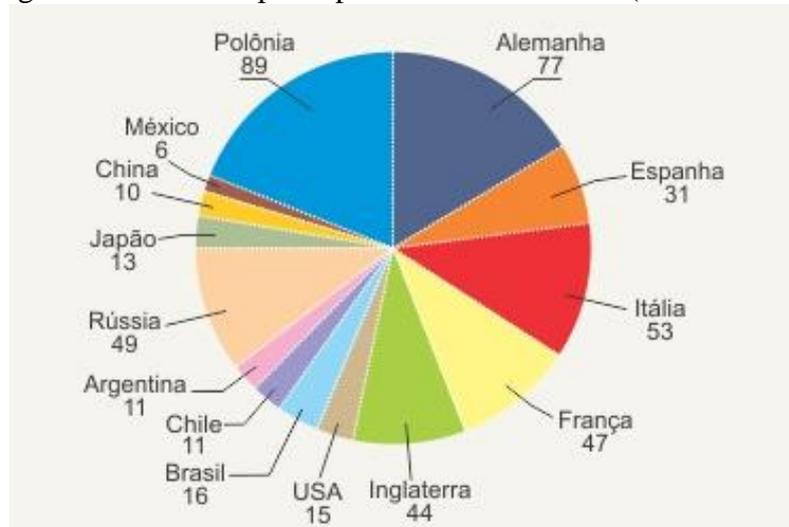
Fonte: Vidal e Hora (2014).

Ainda de acordo com a Tabela 1, a China é o maior destaque do consumo global de painéis de madeira, com 35,5% do total mundial em 2012. Além da China, outro grande consumidor é os EUA, com 13,3% do mercado e com a maior parte do consumo (49%) voltada para o MDP, chamado no país de painel de partículas e majoritariamente fabricado com resíduos. À exceção desses dois países, observa-se que o consumo é bastante disperso pelo globo. Outro aspecto que é possível observar é que os MDPs foram os mais consumidos no

mundo no ano de 2012, reforçando assim a afirmação feita por Mattos *et al.* (2008) no Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Esses produtos representaram 34,40% do total de painéis consumidos no mundo, seguido pelos compensados (29,35%) e pelos MDFs (28,15%).

Analisando a Figura 4, pode-se observar mais detalhadamente o consumo per capita do painel de partícula de média densidade (MDP), também do ano de 2012. Nota-se que os países europeus, com exceção da Rússia, foram os que mais consumiram painéis aglomerados.

Figura 4 - Consumo per capita de MDP em 2012 (m³/1000 hab.)



Fonte: ABIPA (2013).

No que se refere à produção, a Tabela 2 apresenta os maiores produtores mundiais de painéis e revela bastante semelhança com a Tabela 1. Isso acontece porque a comercialização dos painéis, especialmente o MDP, o MDF e a chapa de fibra, tende a ser regional, isto é, produção e consumo ocorrem em um mesmo país ou em países próximos, em função dos altos custos relativos de frete dos produtos acabados (VIDAL e HORA, 2014). Comprovando esse fato, outro aspecto observado é que os MDP representaram 34,08% do total de painéis produzidos no mundo, seguido pelo compensado (29,61%) e pelo MDF (28,47%).

Tabela 2 - Maiores produtores de painéis de madeira no mundo em 2012

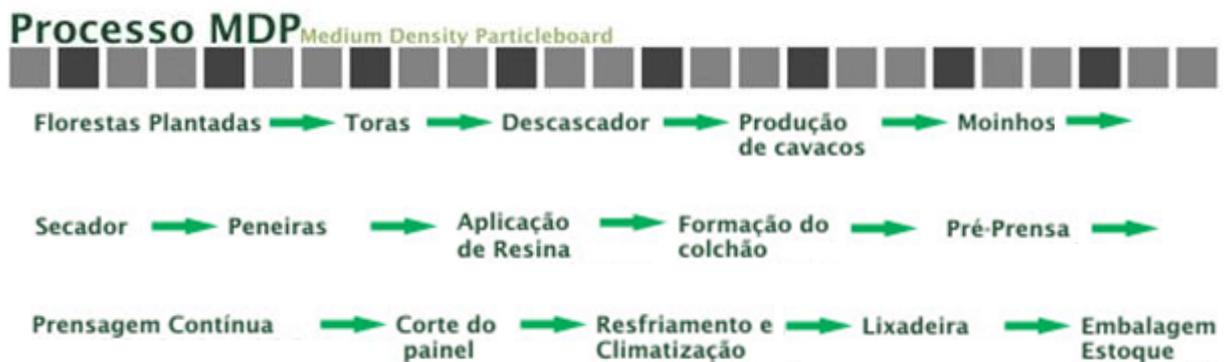
País	Produção de painéis de madeira							Consumo aparente	Saldo comercial
	Chapa de fibra	Insulating board	MDF	MDP	Compensados	Total painéis	% do total		
China	6.541	133	50.225	12.891	44.512	114.301	39,6	101.741	12.560
EUA	377	4.876	2.083	15.265	9.493	32.095	11,1	37.964	(5.870)
Rússia	975	-	1.316	6.753	3.146	12.190	4,2	11.867	323
Alemanha	2.297	1.288	1.478	6.781	178	12.022	4,2	11.795	226
Canadá	80	430	767	7.475	1.824	10.576	3,7	8.274	2.302
Brasil	365	61	3.678	3.261	2.456	9.821	3,4	8.270	1.551
Polônia	165	648	2.363	4.879	388	8.443	2,9	7.455	988
Turquia	-	15	4.000	3.950	116	8.081	2,8	8.550	(469)
Indonésia	40	178	229	125	5.178	5.750	2,0	3.310	2.440
Malásia	237	-	1.460	123	3.887	5.707	2,0	1.513	4.194
Demais	2.112	1.800	14.690	36.966	14.398	69.965	24,2	85.645	(15.680)
Total geral	13.188	9.429	82.288	98.470	85.576	288.951	100,0	286.385	2.566

Fonte: Vidal e Hora (2014).

2.2.4 Processo de produção

Na fabricação do painel de partículas de média densidade MDP utiliza-se a tecnologia de prensas contínuas, modernos classificadores de partículas e softwares de última geração que controlam todo o processo de produção. A Figura 5 apresenta as principais etapas do processo de produção do MDP, podendo-se observar que esse processo de produção inclui desde a plantação das florestas de pinus e eucalipto, até a embalagem e estoque do material.

Figura 5 - Processo de produção do MDP



Fonte: Adaptado de Eucatex (2007).

De acordo com a ilustração da Figura 5, observa-se o modelo produtivo da empresa Eucatex, conforme descrito a seguir:

- **Florestas plantadas:** o MDP aceita “mix” de espécies madeira (eucalipto e pinus);

- **Toras:** é guardado um tempo para obtenção da homogeneidade da umidade do material;
- **Descascador:** é retirada a casca e os depósitos de sílica (mais comum no *pinus*);
- **Produção de cavacos:** o material é picado em *chips* de aproximadamente 50x50x4mm;
- **Produção de partículas:** por meio dos moinhos, os cavacos são transformados em partículas;
- **Secador:** as partículas passam por tubos rotativos para o processo de secagem;
- **Classificação das partículas:** as partículas são peneiradas e separadas em padrões (grosso e fino);
- **Aplicação de resina:** o material passa pelas encoladeiras (camada interna e externa);
- **Formação do painel:** primeiro é feito o colchão de partículas para formação das camadas externa superior, externa inferior e interna. Em seguida ocorre a pré prensagem, onde acontece a compactação do colchão e a desaeração;
- **Prensagem contínua:** verifica-se a consolidação do colchão mediante pressão e temperatura; no caso do revestimento celulósico tipo *Finish Foil* (FF) o papel já é aplicado;
- **Resfriamento e climatização:** o painel passa pelo virador para homogeneização da temperatura e conseqüente processo de cura da resina;
- **Acabamento lixadeira:** esse processo é para o material cru, que receberá revestimento;
- **Corte da chapa:** as chapas são padronizadas em suas dimensões;
- **Embalagem e estoque:** fase pela qual seleciona-se os painéis conforme as suas características para a aplicação do revestimento melamínico tipo Baixa Pressão (BP).

No processo industrial para produção de painéis aglomerados são utilizadas partículas com maiores dimensões na camada interna e partículas com menores dimensões nas camadas externas. A utilização de finos na superfície do aglomerado tem a finalidade de conferir ao painel melhor acabamento superficial, visando principalmente melhorar as condições de aplicação de materiais de revestimentos.

2.2.5 Classificação e requisitos normativos das propriedades físico/mecânicas

Os painéis de partículas de média densidade primeiramente precisam atender a requisitos gerais (Tabela 3) estabelecidos pela ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013).

Tabela 3 – Requisitos gerais dos painéis de partícula de média densidade (MDP)

Propriedades	Requisitos
Espessura	$\pm 0,3$ mm
Largura e comprimento	± 5 mm
Esquadro	≤ 2 mm/m
Retilidade	$\leq 1,5$ mm/m
Tolerância em relação à densidade média	± 7 mm

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 14810-2 (2013).

Após atenderem a esses requisitos são classificados, de acordo com ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013) em seis tipos:

- P₂ - Painéis não estruturais para uso interno em condições secas;
- P₃ - Painéis não estruturais para uso em condições úmidas;
- P₄ - Painéis estruturais para uso em condições secas;
- P₅ - Painéis estruturais para uso em condições úmidas;
- P₆ - Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas;
- P₇ - Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições úmidas.

Essa classificação foi proposta fazendo-se referência a requisitos das propriedades de inchamento após 24 horas (I), resistência à tração perpendicular (TP), módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) e nos casos dos painéis para uso em condições úmidas acrescenta-se os requisitos de inchamento após ensaio cíclico (Ic), tração perpendicular após ensaio cíclico (TPc) e tração perpendicular após ensaio de água em ebulição (TPae), conforme aponta a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros normativos dos painéis de partícula de média densidade (MDP)

Tipo de painel	ρ (g/cm³)	I (%)	Ic (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	TP (MPa)	TPc (MPa)	TPae (MPa)
P2	0,51 a 0,75	18		1800	11	0,40		
P3	0,51 a 0,75	17	14	2050	15	0,45	0,15	0,09
P4	0,51 a 0,75	19		2300	16	0,40		
P5	0,51 a 0,75	13	12	2550	18	0,45	0,25	0,15
P6	0,51 a 0,75	16		3150	20	0,60		
P7	0,51 a 0,75	10	11	3350	22	0,75	0,41	0,25

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 14810-2 (2013).

A NBR 14810:2013 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Madeira (ABNT/CB-31), pela Comissão de Estudo de Painéis de Partículas de Média Densidade (CE-31:000.18). Apresenta o título geral “Painéis de partícula de media densidade”. Contém “Parte 1: Terminologia” e “Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio”, sendo que a “Parte 1” define os termos usualmente empregados na especificação, execução de ensaios, comercialização e utilização de painéis de partícula de média densidade e a “Parte 2” estabelece os requisitos e métodos de ensaio para painéis de partícula de média densidade.

Neste trabalho, a NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a, b) é muito importante, uma vez que os ensaios para caracterização dos painéis MDP estudados, foram produzidos segundo as sugestões propostas nessa norma.

Considerando os tipos de painéis de partícula de média densidade, a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), estabelece requisitos de acordo com as condições de utilização. Para os estudos em desenvolvimento neste trabalho, foram consideradas as avaliações para “Painéis não estruturais para uso interno em condições secas” que, de acordo com a referida norma, tais condições de uso correspondem a temperatura ambiente de 20 °C e umidade relativa do ar menor ou igual a 65%. Ressalta-se ainda que, para esse tipo de painel aglomerado, suas propriedades físicas e mecânicas são avaliadas de acordo com espessuras que devem varia no intervalo de valores < 3 mm a > 40 mm e tolerância de $\pm 0,3$ mm.

2.2.6 Influência das variáveis nas propriedades dos painéis

O MDP é um painel cujas propriedades podem ser melhoradas em função da geometria e homogeneidade das partículas, da quantidade e tipo do adesivo utilizado, da pressão, do tempo e da temperatura de prensagem, bem como da eventual introdução de aditivos durante o processo de fabricação (ISAIA, 2010). Assim, vê-se que uma grande quantidade de fatores variáveis influencia a qualidade final do aglomerado, os quais devem ser controlados durante o processo de produção. Em uma indústria moderna de partículas, controlam-se mais de trinta parâmetros para se obter a fórmula de produção ótima (POBLETE, 2001).

- Matéria-prima

Um aspecto importante sobre a produção dos painéis é a definição das variáveis para produção. Essas variáveis definem o produto final e estão presentes até mesmo na escolha da matéria-prima para se obter um produto adequado para sua aplicação. A matéria-prima empregada para a fabricação de painéis de partículas é variável, podendo ser: toretes de pequeno

diâmetro (com e sem casca), resíduos provenientes do manejo florestal, resíduos provenientes da transformação mecânica da madeira e resíduos de culturas agrícolas (LARA PALMA; BALLARIN, 2003).

Para produção dos painéis, as madeiras de baixa densidade são priorizadas, pois, permitem a fabricação de painéis mais leves e com propriedades adequadas (MALONEY, 1993 *apud.*, COLLI et al., 2010). Sob o ponto de vista tecnológico, a utilização de madeiras alternativas ao pinus e eucalipto, pode contribuir para melhorar a qualidade e as propriedades dos painéis aglomerados, principalmente devido às diferentes características inerentes a cada espécie (TRIANOSKI, 2010).

As chapas aglomeradas podem ser produzidas a partir de qualquer material lignocelulósico que apresente resistência mecânica, física e biológica apropriada. De acordo com Stangerlin et al. (2011), há estudos para verificação da qualidade e viabilidade de chapas aglomeradas com misturas de fibras naturais como o bagaço de cana-de-açúcar, bambu e casca de arroz. A mistura das partículas de madeira com outros materiais para a fabricação de painéis, tem como finalidade a diminuição dos custos de aquisição de matéria-prima, podendo ser produzida industrialmente desde que não sejam alteradas negativamente as propriedades físico-mecânicas desses produtos (MELO et al., 2015).

- Granulometria e teor de umidade das partículas

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 uma chapa, influenciando, por exemplo, a adesão interna. Segundo Barros Filho (2009), o teor de umidade das partículas é decisivo nas propriedades dos painéis, pois influenciará diretamente desde a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a consolidação do painel até a espessura desejada final. Teores acima do ideal poderão gerar bolhas de vapor durante o processo de prensagem; em contrapartida, teores abaixo do ideal poderão proporcionar uma secagem exagerada e ocasionar, em situações extremas, combustão e incêndio no secador.

Para Pierre (2010) e Iwakiri et al., (2005a) o desempenho dos painéis aglomerados é, em grande parte, o reflexo das características das partículas. Partículas longas e finas produzem painéis com maior resistência à flexão estática e maior estabilidade dimensional, enquanto painéis fabricados com partículas curtas e espessas aumentam a sua resistência à tração perpendicular (VITAL et al., 1992). O comprimento, largura e espessura das partículas são controlados no processo produtivo, visando a homogeneidade das dimensões que irão influenciar na área superficial específica e, conseqüentemente, no consumo de resina e propriedades dos painéis (KELLY, 1977).

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 ruptura (MOR) aumenta.

- Adesivo

Nos painéis, toda a ligação entre as partículas é criada pela resina adicionada, a qual é geralmente ativada sob temperatura e pressão. Iwakiri *et al.*, (2005a) 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 painel aglomerado.

A proporção de adesivo incorporado na produção de painéis aglomerados, pode variar na faixa de 5 à 10%, dependendo do conteúdo de sólido resinoso e com base no peso seco e dimensões das partículas de madeira (IWAKIRI, 2005). De acordo com Maloney (1993), todas as propriedades dos painéis aglomerados melhoram de maneira proporcional com o aumento do conteúdo de adesivo, em especial a resistência à tração perpendicular, porém o custo de produção aumenta consideravelmente.

Para Dias (2005), o pH ideal do adesivo utilizado em madeira deve estar contido em um intervalo de 1,5 a 11, pois um pH 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. O autor também destaca que a diferença do teor de sólidos de cada adesivo influencia na perda de água no momento da prensagem do painel, influenciando assim diretamente a densidade, ou seja, quanto maior a quantidade de sólidos maior a perda de água e conseqüentemente maior será a densidade do painel.

A resina ureia-formaldeído é a mais empregada na indústria de aglomerados, sendo utilizada normalmente na forma de emulsão com um conteúdo de 50% a 65% de sólidos. A dosagem é feita por peso ou volume de partículas disponíveis, sendo o peso o mais utilizado (LARA PALMA; BALLARIN, 2003).

- Densidade

A influência da densidade do painel sobre as propriedades físicas e mecânicas é altamente significativa (IWAKIRI *et al.*, 2005b). Essa é a variável que mais afeta as propriedades de resistência dos painéis formados (HILLIG, 2000). Segundo Moslemi (1974), painéis aglomerados produzidos com madeira de baixa densidade têm maior módulo de elasticidade, resistência à flexão estática e adesão interna (resistência a tração perpendicular), pois apresentam melhor qualidade de colagem (adesão), isto porque um determinado peso de partículas de uma madeira de baixa densidade, possui mais partículas se comparada a uma mesma quantidade de madeira de alta densidade.

Os painéis de maior densidade apresentam maior resistência mecânica, entretanto, a sua estabilidade dimensional é prejudicada em função do maior inchamento em espessura (KELLY, 1977). Isso ocorre devido a maior quantidade de partículas de madeira e maior densificação do painel, estando relacionado ao inchamento higroscópico da madeira e a liberação das tensões de compressão geradas durante o processo de prensagem (IWAKIRI et al., 2005b).

A fim de se garantir um campo de contato satisfatório entre as partículas e uma densidade mínima para formação do painel, deve-se considerar a “taxa de compactação”, que é determinada pela relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira, cujo valor tem que ser de no mínimo 1,30 (IWAKIRI et al., 2012).

2.2.7 Aplicabilidade e avaliações relevantes

Os painéis de partículas encontram utilizações 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 (FIORELLI et al., 2014). De acordo com Oliveira et al. (2016), entre 80% e 90% dos painéis aglomerados produzidos são projetados para produção de móveis. A indústria de embalagens também se caracteriza como um cenário promissor, devido às constantes pesquisas objetivando propriedades superiores para estes painéis (BERTOLINI, 2011).

Segundo Biazuz et al. (2010), o painel de partículas de média densidade (MDP) é utilizado de forma secundária na construção civil, e predominantemente na fabricação de móveis comerciais e residenciais retilíneos (tampas de mesas, laterais de armários, estantes, prateleiras, portas retas e frentes e laterais de gaveta). Entretanto o MDP não é indicado para peças que exijam usinagens em baixo relevo, entalhes ou cantos arredondados (EUCATEX, 2007).

Sartori et al. (2012) desenvolveram painéis aglomerados de madeira de reflorestamento e chapas de partículas de resíduos lignocelulósicos formadas com bagaço de cana-de-açúcar e com resina poliuretana à base de óleo de mamona e obtiveram resultados que propiciaram aplicação em edificações de manejo bovino.

2.3 Resinas Ureia-formaldeído (UF) e Poliuretano de mamona (PU-M) na produção de painéis

Considerando a indústria de painéis aglomerados, a sua maior parte utiliza adesivos sintéticos, especialmente, à base de ureia-formaldeído. A resina ureia-formaldeído é classificada como adesivo sintético termofixo e como já apresentado anteriormente, os adesivos termofixos, quando sob aquecimento, apresentam modificações químicas e físicas irreversíveis, que os tornam rígidos e insolúveis, mediante reações de policondensação (SILVA, 2015).

A reação ureia-formaldeído (UF) é de cura ácida e acelerada por calor para formar um polímero rígido e cristalino. As resinas ureicas são notáveis pela cura rápida, alta resistência e baixo custo. Devido à sua natureza reativa, as resinas UF se caracterizam por apresentar cura muito rápida na produção de painéis, pois em alta temperatura, podem endurecer em até 2 segundos.

Dentre as resinas ureicas, a fenol-formaldeído foi a primeira a ser desenvolvida em 1929, seguida pela ureia-formaldeído, em 1931 (IWAKIRI et al., 2005b). O menor custo, em relação às outras resinas do mercado, é o fator determinante para utilização da UF, na produção em larga escala de aglomerados.

A ampla utilização dessas resinas, além do seu baixo custo, deve-se, principalmente, por ser de fácil manuseio, cura rápida e incolor (IWAKIRI, 2005). Entretanto, a resina ureia-formaldeído é um produto instável e com propriedades como o tempo de vida e a viscosidade, dependentes da temperatura e das etapas de condensação, portanto, quanto maior for a temperatura, menor será a sua vida útil (DYNEA, 2001). E, de acordo com Marra (1992), a sua baixa resistência à umidade limita o seu emprego ao uso em condições de umidade dos painéis. Além do mais, é classificada como agente de insalubridade máxima, pela emissão do formol (CHIPANSKI, 2006).

Em virtude da emissão de formol ser prejudicial ao homem e ao meio ambiente, existe uma constante pressão dos ambientalistas e dos usuários para a produção de painéis com baixas liberações de formol para atmosfera (LESSMANN, 2008). À vista disto, houve busca por novas tecnologias e interesse pela química das resinas ureia-formaldeído, aprimorando essa variedade de material (ALVES *et al.*, 2014).

Dentro desse contexto, surgem novas propostas de adesivos como os produzidos com resina à base de óleo de mamona para a produção de um poliuretano que, apresenta teor de sólido de 100% e, compondo o polioliol B1640 e o pré-polímero A249, na proporção em peso de

1:2, caracterizando-a assim, como bi-componente (POLETO et al., 2013). Ainda de acordo com Poleto *et al.* (2013), é uma resina de cura a frio, para propiciar a reação de polimerização, podendo ser acelerada a temperatura de até 120 °C. Essa reação conduz à formação da poliuretana e dependendo do conteúdo do poliol empregado, é possível obter poliuretanas com maior ou menor rigidez e/ou maior ou menor flexibilidade (SILVA et al., 2013).

O óleo de mamona ou óleo de rícino, conhecido internacionalmente como “*Castor Oil*” é extraído da semente da planta *Ricinus Communis*, da família *Euphorbiaceae*, encontrada em regiões tropicais e subtropicais, sendo muito abundante no Brasil (SILVA et al., 2013). A partir do óleo de mamona é possível sintetizar poliois e pré-polímeros com diferentes características e, quando misturados originam poliuretanas.

O adesivo poliuretano a base de óleo de mamona (PU-M) foi desenvolvido no Instituto de Química de São Carlos –SP (Brasil), da USP (Universidade de São Paulo), representando uma tecnologia nacional e seu surgimento foi motivado pela proposta de utilização de produtos biodegradáveis, não poluentes e derivados de biomassa (ARAÚJO, 1992). O seu custo varia de acordo com o poliol e sua proporção na mistura com o pré-polímero que, por sua vez, representa 80 % do custo da resina (KEHL, 2006).

Dessa forma, o emprego do adesivo poliuretano a base de mamona na produção de painéis aglomerados representa uma inovação tecnológica, pois confere maiores resistências físicas e mecânicas aos painéis, principalmente resistência à umidade. Entretanto, a resina UF, empregada para produção de painéis de madeira, mesmo apresentando pouca resistência à umidade e produzindo emissões de formaldeído, tem como principal vantagem o baixo custo (SILVA et al., 2013).

2.4 Bagaço de cana-de-açúcar

Silva et al. (2017) descrevem que o bagaço de cana é um resíduo sólido fibroso gerado após o processo de moagem na produção de álcool etílico. Os principais componentes do bagaço de cana-de-açúcar são: 32-50% de celulose, 19-25% de hemicelulose, 23-32% de lignina, 2% de cinzas, sendo 46% de fibras e 50% de umidade (SOUZA et al., 2015).

De acordo com os dados da OECD/FAO (2017), a quantidade média de cana produzida no mundo de 2014 a 2016 foi de aproximadamente 1.844,0 milhões de toneladas e a projeção para a produção mundial em 2018 é de 1.947,2 milhões de toneladas. Mesmo sabendo que a geração de bagaço depende das espécies de cana-de-açúcar, segundo Sanchez et al. (2010) e

confirmado por Silva et al. (2017), dentre os subprodutos da indústria sucroalcooleira, o bagaço apresenta um volume de 280 kg/ton ou seja, em geral 30% do bagaço é extraído em uma tonelada de cana processada, que, pode ser reutilizado como adubo, fonte de energia e outros.

No Brasil, a produção de cana-de-açúcar estimada para a safra 2017/18, é de 647,6 milhões de toneladas (CONAB, 2017) e espera-se que, apenas na região Sudeste do território brasileiro, atinja-se 421,87 milhões de toneladas de cana-de-açúcar processadas. Até o ano de 2010, o bagaço era em sua maioria queimado para gerar energia para as usinas, mas uma quantidade considerável era desperdiçada (CERQUEIRA et al., 2010). Porém, atualmente, a maior parte deste bagaço é queimado para geração de energia e uma outra parte é utilizada para produção de celulose, papel e cartão (SILVA et al., 2017).

Além da queima do bagaço de cana-de-açúcar liberar poluentes na atmosfera, o seu armazenamento inclui um risco devido à possibilidade de combustão espontânea do bagaço armazenado (HOAREAU et al., 2006). Desse modo, a importância de se discutir novas formas de aproveitamento para bagaço da cana-de-açúcar está na possibilidade de redução de custos para as usinas sucroalcooleiras e, concomitantemente, diminuir o impacto ambiental (COSTA e DUARTE, 2010).

De acordo com Caraschi et al. (2009), muitos resíduos produzidos por agroindústrias podem ser usados para fazer painéis de partículas. Entre os resíduos agrícolas, o bagaço de cana tem se destacado devido à sua composição química mostrar similaridade com a de madeiras moles de menor densidade (SILVA et al., 2017) e em virtude da quantidade gerada representar, no Brasil, um dos mais significativos resíduos sólidos gerados na agroindústria sucroalcooleira (PEDRESCHI, 2009). Dentre as vantagens e as desvantagens de suas fibras para a produção de painéis de partículas, apresentam maior umidade, melhor degradabilidade, menor resistência a tração e menor módulo de elasticidade (SANCHEZ et al., 2010).

Widyorini et al. (2005), Mendes et al. (2010), Freire et al. (2011), Tabarsa et al. (2011) e Mendes et al. (2012) já avaliaram o uso do bagaço de cana na produção de aglomerados comparando suas qualidades com a de painéis feitos de outros materiais e concluíram que painéis produzidos com bagaço de cana são muito promissores para aplicações baseadas em móveis. Desta forma, a produção de aglomerados com bagaço de cana-de-açúcar, além de agregar valor ao resíduo, pode satisfazer a crescente demanda na indústria de painéis de madeira para matéria-prima (OLIVEIRA et al., 2016). E ainda segundo esses mesmos autores, a produção de painéis de partículas com bagaço contribui para expansão da indústria de painéis, para redução do uso de madeira e redução da pressão sobre as florestas, bem como para redução

dos custos da produção de painéis; aumentando assim, o potencial deste tipo de painel ser competitivo.

2.5 Pesquisas relevantes sobre painéis MDP com o emprego de bagaço de cana-de-açúcar e/ou com emprego da resina poliuretana à base de mamona

Dias (2005), apresenta em sua tese de Doutorado, estudos de chapas de partículas de madeira aglomeradas, fabricadas com resina poliuretana a base de mamona. Os resultados do módulo de ruptura (MOR) apresentaram valores médios que 18 MPa e do módulo de elasticidade (MOE) 3034 MPa, superando dos valores mínimos exigidos pelas Normas NBR 14810-2 (2014), ANSI A 208.1 (USDA) e CS 236-66.

O desempenho de painéis compensados e aglomerados empregando-se resina poliuretana à base de mamona na adesão dos painéis também foi analisado nos estudos de Dias (2008) utilizando as espécies *Eucalyptus saligna*, para compensando e uma composição de *Eucalipytus grandis*, *Eucalyptus urophilla* e *Pinus elliottii*, com variações nas temperaturas de prensagem (60 e 90 °C) e adição de parafina nos aglomerados. A avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis foi realizada segundo as normas específicas brasileiras e no compensado, propriedades como resistência da colagem e esforço ao cisalhamento, segundo a norma europeia. O desempenho de ambos os painéis atingiu os requisitos normativos em questão, caracterizando a resina à base de mamona como promissora na aplicação desses produtos lignocelulósicos.

Painéis de partículas aglomeradas com bagaço de cana e resina poliuretana derivada de óleo de mamona foram pesquisados no trabalho de Fiorelli *et al.* (2011), tendo investigado as propriedades: densidade, inchamento, absorção e módulo de elasticidade e de ruptura à flexão. Os resultados indicaram os materiais fabricados como sendo de alta densidade, recomendado para uso industrial, evidenciando a eficiência da resina poliuretana a base de mamona como adesivo.

Paes *et al.* (2011) estudaram o efeito da combinação da pressão (2,0; 3,0; 3,5 MPa) e temperatura (50; 60; 90 °C) em painéis de partículas com resíduos de madeira de *Pinus elliottii* e resina poliuretana derivada de mamona nas variáveis resposta: densidade, inchamento e absorção de água (0-2h; 2-24h; 0-24h), módulo de elasticidade e de ruptura à flexão, arrancamento de parafuso e ligação interna, concluindo que as combinações 3,0 MPa e 90 °C e

3,5 MPa e 60 °C apresentaram os melhores resultados, comprovando ser a temperatura de prensagem a variável mais significativa quanto a qualidade das chapas elaboradas.

Silva *et al.* (2013), avaliaram as características físico mecânicas de chapas aglomeradas com partículas de *Leucaena leucocephala* e resina poliuretana derivada de óleo de mamona, sendo investigados o módulo de resistência à flexão ou também chamada de módulo de ruptura (MOR), adesão interna ou tração perpendicular, densidade aparente e teor de umidade. Os resultados obtidos demonstraram que as densidades aparentes obtidas foram 22,67% superiores aos limites superiores estabelecidos pela normatização técnica brasileira, o módulo de resistência à flexão mostrou ser 43,7% superior ao valor definido pela norma e os coeficientes de determinação das regressões entre a adesão interna e densidade aparente comprovaram a linearidade entre as variáveis, possibilitando-se estimar a adesão interna dos painéis com o conhecimento das suas respectivas densidades.

A avaliação da relação entre as densidades aparentes de chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de madeira tropical, empregando-se 10% de resina poliuretana derivado de óleo de mamona, baseando-se nos procedimentos propostos pela ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013), foi realizada por Silva et al. (2013). Os valores obtidos para as densidades aparentes foram comparados e avaliados pelo método de análise estatística de Tukey, permitindo concluir que as variações estão dentro dos limites de variabilidade admissíveis pelo método de análise empregado. Todavia, ao se comparar os valores de densidade aparente em relação à densidade nominal (0,8 g/cm³), verificou-se que há necessidade de avaliar chapas produzidas com teores de resina inferiores a 10%.

Rocha (2016) avaliou a influência da composição granulométrica no desempenho de painéis de partículas de madeira de média densidade de acordo com a ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013). Foram propostos cinco tratamentos com misturas diferentes de partículas de madeira e adição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar. Através de avaliações para a verificação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, verificou-se que o desempenho dos painéis com distribuição granulométrica na faixa de 4 mm à 6 mm atingiu os requisitos normativos em questão, sendo possível indicar o aproveitamento dos resíduos estudados para a produção de painéis de madeira de média densidade do tipo P2 segundo a ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013).

Oliveira *et al.* (2016) também avaliaram painéis industriais de MDP feitos de *Eucalyptus spp* e *Pinus spp* por duas empresas brasileiras e um painel de MDP industrial feito a partir do bagaço de cana-de-açúcar produzido na China. Analisou-se as propriedades físicas (teor de umidade, densidade, absorção de água e inchamento após 2 e 24 h de imersão em água) e as propriedades mecânicas (módulo de elasticidade, módulo de ruptura, adesão interna,

arranchamento de parafuso e testes de dureza Janka), seguindo o procedimento detalhado na NBR 14810-3 (ABNT, 2006). E assim, constataram que os painéis feitos com bagaço de cana apresentaram propriedades físicas e mecânicas comparáveis ou superiores às produzidas a partir de eucalipto e pinus.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é estudar a viabilidade de produção de painéis à base de partículas de madeira de pinus e bagaço de cana-de-açúcar, empregando-se os adesivos poliuretano à base de mamona (PU-M) e ureia-formaldeído (UF).

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos constituíram em:

- Produzir e avaliar painéis aglomerados, segundo os padrões normativos da ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013).
- Propor tratamentos com misturas de partículas de madeira de pinus e de bagaço de cana para produção de painéis com 10% adesivo de PU-M.
- Propor tratamentos com misturas de partículas de madeira de pinus e de bagaço de cana para produção de painéis com 10% adesivo de resina UF.
- Avaliar as propriedades dos painéis em questão, para aplicação estrutural.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão apresentados com base na ABNT NBR 14810-1 e 2 (2013) os materiais estudados bem como os procedimentos metodológicos utilizados para avaliação e caracterização dos painéis aglomerados. Ressalta-se que o trabalho foi desenvolvido em duas etapas, sendo uma preliminar, para delineamento das variáveis a serem utilizadas, na qual teve por objetivo fazer análises prévias tanto dos procedimentos para produção dos painéis como de suas propriedades físicas e mecânicas e, a etapa principal, na qual após a análise dos resultados obtidos com os ensaios da etapa preliminar confeccionou-se novos painéis com seus devidos ajustes.

A produção dos painéis da etapa preliminar foi feita no campus de Itapeva da UNESP e seus ensaios para análise das propriedades físicas e mecânicas foram realizados no campus de Ilha Solteira da UNESP. A produção dos painéis e seus ensaios para análise das propriedades mecânicas da etapa principal foram feitos no campus de Bauru da UNESP e os ensaios para avaliação das propriedades físicas dos mesmos foram feitos no campus de Ilha Solteira da UNESP.

4.1 Materiais

Na Figura 6 são ilustradas as partículas de bagaço de cana-de-açúcar, utilizadas para a produção dos painéis aglomerados. Este material foi coletado em usinas sucroalcooleiras da Região Noroeste do Estado de São Paulo, Brasil.

Figura 6 - Partículas de bagaço de cana-de-açúcar



Fonte: Própria autora.

Na Figura 7 são mostradas as partículas de madeira de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii* utilizadas para produção dos painéis. Este material foi obtido por meio do processamento de tábuas de pinus, comercializado em serrarias da cidade de Ilha Solteira, São Paulo, Brasil.

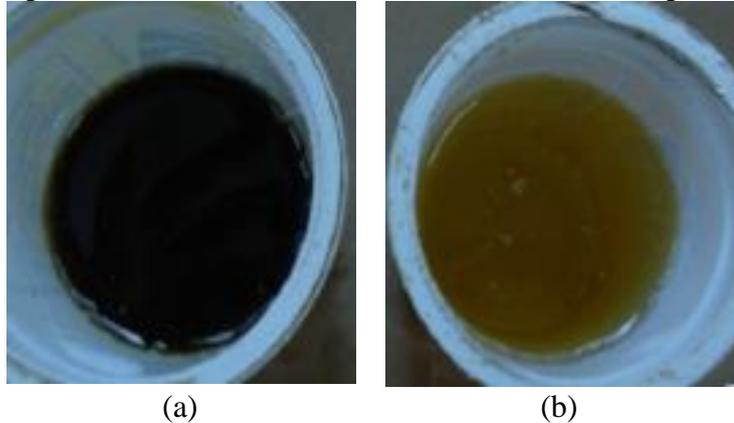
Figura 7 - Partículas de *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*



Fonte: Própria autora.

O poliuretano derivado de óleo de mamona (PU-M), bicomponente (poliol e pré-polímero), foi um dos adesivos utilizados na produção dos painéis. Sua aplicação na mistura se fez na proporção na proporção 1:1, sendo fornecido pela empresa Pluralquímica (Figura 8).

Figura 8 – Adesivo poliuretano derivado de óleo de mamona: (a) Pré-polímero; (b) Poliol



Fonte: Própria autora.

As Tabelas 5 e 6 apresentam algumas informações técnicas sobre o PU-M, de acordo com os dados do fabricante.

Tabela 5 - Propriedades do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona

POLIOL	
Aspecto do produto	Líquido amarelado
Viscosidade (25 ⁰ C) Brookfield - cP	600 - 950
Densidade - g/cm ³	0,9 – 1,0
Cor Lovbond - (Máx)	40 Amarelo e 4 Vermelho
Umidade - % (Máx)	0,5
Acidez - % (Máx)	1,0

Fonte: Própria autora.

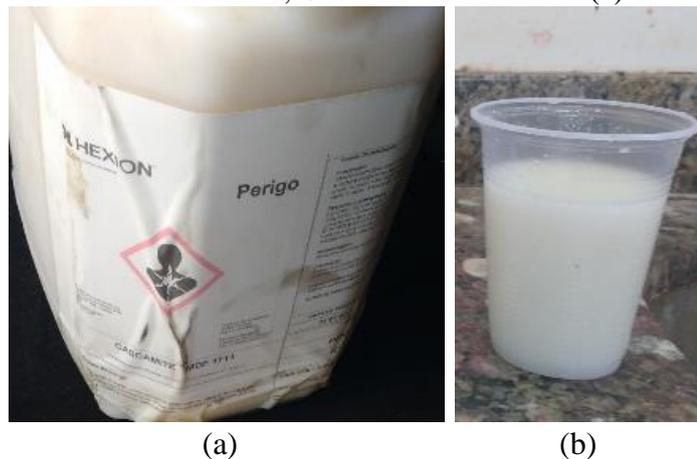
Tabela 6 - Propriedades do adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona

PRÉ - POLÍMERO	
Aspecto do produto	Líquido marrom escuro
Viscosidade (20 ⁰ C) Brookfield - cP	300
Densidade (20 ⁰ C) - g/cm ³	1,24
Solubilidade em água	Insolúvel
Ponto de ebulição - ⁰ C	170
Flash point - ⁰ C	>250
Temperatura de ignição - ⁰ C	>500

Fonte: Própria autora.

Utilizou-se também para produção dos painéis uma resina ureica, comercializada com o nome de Cascamit MDF - 1711 e fornecida pela empresa Hexion Specialty Chemicals Inc (Figura 9).

Figura 9 - Resina ureia-formaldeído, Cascamit MDF-1711: (a) rótulo; (b) resina



Fonte: Própria autora.

Esta resina se caracteriza por ser termofixa à base de ureia-formol, em solução aquosa, desenvolvida para a fabricação de painéis de fibras de média densidade e segundo os fabricantes pode ser utilizada também com catalisadores, parafina e outros aditivos. A Tabela 7 apresenta

as principais características da resina Cascamit MDF-1711, de acordo com os dados do fabricante.

Tabela 7 - Propriedades da resina ureia-formaldeído

RESINA UREIA-FORMALDEIDO	
Aspecto do produto	Líquido, branco
Teor de sólidos por IR- %	58 - 62
Viscosidade Brookfield 2/60 - cP	100 - 200
pH (25 ⁰ C)	7,6 - 8,0
Densidade (25 ⁰ C) - g/cm ³	1,248 - 1,269
Formol livre (após 24 h da produção) - %	Máximo 0,2
Tempo de Gel – s	40 - 80

Fonte: Própria autora.

Para aplicação da resina UF utilizou-se água, catalizador de sulfato de amônio e emulsão de parafina (doados pela empresa Isogama Indústria Química – Unidade PR), de acordo com os procedimentos adotados por Eleoterio (2000).

Para homogeneização das partículas de pinus e de bagaço de cana-de-açúcar utilizou-se um misturador constituído por um cilindro giratório equipado com um eixo contendo palhetas que propiciam a homogeneização das partículas com a resina pré-adicionada manualmente. Na Figura 10 é ilustrado o misturador mecânico.

Figura 10 - Misturador mecânico e/ou encoladeira de tambor



Fonte: Própria autora.

Para definir a forma inicial do painel, utilizou-se uma formadora de colchão, conforme ilustrado na Figura 11. Este equipamento foi utilizado para possibilitar uma pré-prensagem dos painéis com dimensões de 35 x 35 x 20 cm.

Figura 11 - Formadora de colchão



Fonte: Própria autora.

Consequentemente, para a pré-prensagem das partículas na formadora de colchão, utilizou-se uma prensa hidráulica (Figura 12) com capacidade máxima de 15 t.

Figura 12 - Prensa hidráulica



Fonte: Própria autora.

Para produção dos painéis utilizou-se uma prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão, conforme ilustrado na Figura 13. Este equipamento possui acionamento bimanual com botão stop de emergência e capacidade máxima de prensagem de 80 t.

Figura 13 - Prensa hidráulica com controle de temperatura e pressão.



Fonte: Própria autora.

4.2 Metodologia

4.2.1 Definição dos tratamentos

- Programa experimental – etapa preliminar

Foram realizados estudos exploratórios considerando-se quatro tratamentos ($T_{1.1}$, $T_{2.1}$, $T_{3.1}$, $T_{4.1}$), onde a nomenclatura $T_{3.1}$, por exemplo, refere-se ao tratamento 3 da etapa 1 e assim respectivamente. Nesta etapa adotou-se uma densidade nominal estimada em $0,8 \text{ g/cm}^3$ e calculou-se a massa de partículas necessária para um painel com dimensões de $35 \times 35 \times 1 \text{ cm}$, ou seja, com volume de 1225 cm^3 , assim, a massa de partículas de cada painel foi igual a 980 g. Os tratamentos propostos para confecção dos painéis estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Tratamentos propostos para produção dos painéis da etapa preliminar

Tratamento	Pinus (%)	Bagaço (%)	Adesivo	Umidade
$T_{1.1}$	40	60	PU-M	10,0
$T_{2.1}$	60	40	PU-M	9,9
$T_{3.1}$	40	60	UF	7,0
$T_{4.1}$	60	40	UF	7,0

Fonte: Própria autora.

Conforme se observa na Tabela 8, foram determinados teores de umidade para as misturas de partículas de cada tratamento, ou seja, para os tratamentos $T_{1.1}$ e $T_{2.1}$ que são painéis produzidos empregando-se resina PU-M, as misturas das partículas apresentaram teores de umidade de 10 e 9,9%, respectivamente, conseqüentemente, verificou-se que este teor propiciou uma boa homogeneização do adesivo PU-M às partículas.

Para os tratamentos T_{3,1} e T_{4,1} empregando-se UF, as misturas das partículas apresentaram teores de umidade de 7,0%, conseqüentemente, verificou-se que estes teores de umidade foram excessivos e influenciaram na produção dos painéis, provocando a formação de bolhas e conseqüente delaminação. De acordo com Maloney (1993), o teor de umidade ideal das partículas na fabricação de painéis produzidos com resina ureia-formaldeído, deve se situar na faixa de 3 a 6%. Portanto verificou-se a necessidade de adequar o teor de umidades das partículas desses tratamentos.

Nesta etapa, para cada tratamento foram produzidos 3 painéis, ou seja, foram feitos um total de 12 painéis.

- Programa definitivo – etapa principal

Após a análise dos painéis produzidos na etapa preliminar, foram produzidos novos painéis, adotando-se ajustes nos parâmetros de confecção com o objetivo de melhorar os resultados obtidos. Inicialmente foram feitos ajustes na densidade nominal de 0,8 g/cm³ para 0,62 g/cm³, com o objetivo de confeccionar painéis de partículas de média densidade de acordo com a faixa de densidade proposta pela ABNT NBR 14810-1 (2013), que é de 0,55 g/cm³ a 0,75 g/cm³. Assim calculou-se a massa de partículas necessária para um painel com dimensões de 35 x 35 x 1 cm, ou seja, com volume de 1225 cm³ (igual na etapa preliminar) e obteve-se 760 g.

Foram realizados ajustes no teor de umidade das partículas para produção de painéis de UF para aproximadamente 3% com o objetivo de melhorar a adesão interna e conseqüentemente, diminuir a formação de bolhas possivelmente causada pelo excesso de água na mistura. Já as partículas utilizadas na produção de painéis com PU-M foram utilizadas novamente com umidade aproximadamente igual a 10%.

Nessa etapa, foram feitos apenas painéis com 60% de madeira de pinus e 40% de bagaço de cana-de-açúcar, pois conforme as análises experimentais, os tratamentos com maior porcentagem de madeira obtiveram melhores resultados tanto para as propriedades físicas como para as mecânicas. Com relação a porcentagem de aglutinante, manteve-se 10% em relação à massa das partículas, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Tratamentos propostos para produção dos painéis definitivos

Tratamento	Madeira (%)	Bagaço (%)	Adesivo	Umidade (%)
T _{2,2}	60	40	PU-M	9,6
T _{4,2}	60	40	UF	3,8

Fonte: Própria autora.

Conforme se observa na Tabela 9, a nomenclatura do tratamento dos painéis com o adesivo poliuretano derivado do óleo de mamona (PU-M) é T_{2,2} e a nomenclatura do tratamento dos painéis com a resina ureia-formaldeído (UF) é T_{4,2}, pois correspondem aos mesmos tratamentos feitos na etapa preliminar porém com os ajustes de parâmetros, ou seja, o T_{2,2} refere-se ao tratamento 2 da etapa 1 (T_{2,1}) e o T_{4,2} refere-se ao tratamento 4 da etapa 1 (T_{4,1}).

Para cada tratamento foram produzidos 4 painéis com dimensões nominais de 35 x 35x 1 cm totalizando assim 8 painéis.

4.2.2 Preparação das partículas

Para obtenção das partículas de bagaço de cana-de-açúcar, inicialmente secou-se ao sol esse material até atingir umidade em torno de 10% (Figura 14).

Figura 14 - Secagem do material no pátio do Laboratório de Construção Civil da UNESP-Ilha Solteira



Fonte: Própria autora.

Após a secagem do bagaço de cana, realizou-se uma retirada manual de impurezas para evitar problemas com a produção dos painéis, ou seja, devido a possibilidade de formação de bolhas e conseqüente delaminação. Em seguida, na etapa preliminar, tanto o bagaço de cana como as maravalhas de pinus foram trituradas em moinho de facas para adequação das dimensões entre 2 a 6mm, segundo Alves (2013). Já na etapa principal, optou-se por não processar as partículas de bagaço de cana-de-açúcar no moinho de facas, apenas efetuar o peneiramento do material coletado no agitador de peneiras ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Agitador de peneiras.



Fonte: Própria autora.

Este procedimento realizado com o bagaço de cana-de-açúcar apenas na etapa principal foi adotado porque verificou-se baixos percentuais de partículas com dimensões acima de 4 mm na etapa preliminar, assim com o objetivo de melhorar os resultados do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) foi necessário propiciar uma composição granulométrica com partículas mais longas, com maior massa de partículas retidas na faixa de 6 a 4 mm pois segundo Pierre (2010) partículas longas e finas dão origem a painéis com maior resistência à flexão estática e estabilidade dimensional.

- Composição granulométrica das partículas

A composição granulométrica das misturas de partículas constituiu-se de uma adaptação do ensaio proposto pela NBR NM 248 (ABNT, 2003) para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto. E sua determinação objetiva avaliar as dimensões da mistura a fim de possibilitar a produção adequada dos painéis.

A faixa adequada das dimensões da partículas para produção de painéis aglomerados, segundo a literatura existente encontra-se entre 2 a 6 mm (ALVES, 2013). Entretanto, com estudos desenvolvidos por Weber (2011), verificou-se que painéis produzidos com partículas de tamanhos majoritariamente na faixa de 0,84 à 2,00 mm obtiveram desempenho físico-mecânico satisfatório.

Para realização do ensaio utilizou-se aproximadamente 100 g de partículas em um agitador de peneiras (Figura 16) ajustado para vibrar durante 10 minutos em um nível 5 de velocidade, com as peneiras de números distintos (4; 8; 16; 30; 50 e 100) em ordem decrescente.

Figura 16 - Conjunto de peneiras e agitador utilizado para realização do ensaio para determinação da composição granulométrica.



Fonte: Própria autora.

- Programa experimental – etapa preliminar

Na etapa preliminar os módulos de finura da madeira de pinus e do bagaço de cana-de-açúcar foram iguais a 4,0 e 3,5, respectivamente, conforme pode ser observado nas Figuras 17 e 18.

Figura 17 – Composição granulométrica das partículas de *Pinus spp*

PENEIRAS		Abert. mm	Peso Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada		% Passando
Normal	Auxil.						
3"	-	76,1		0,00	0		100,00
-	2 1/2"	64		0,00		0	100,00
-	2"	50,8		0,00		0,00	100,00
1 1/2"	-	38,1		0,00	0,00		100,00
-	1"	25,4		0,00		0,00	100,00
3/4"	-	19		0,00	0,00		100,00
-	1/2"	12,7		0,00		0,00	100,00
3/8"	-	9,51		0,00	0,00		100,00
-	1/4"	6,3		0,00		0,00	100,00
N.º 4	-	4,76	0,06	0,06	0,06		99,94
N.º 8	-	2,38	3,87	3,87	3,93		96,07
N.º 16	-	1,19	89,05	88,95	92,88		7,12
N.º 30	-	0,595	6,5	6,49	99,37		0,63
N.º 50	-	0,297	0,46	0,46	99,83		0,17
N.º 100	-	0,149	0,04	0,04	99,87		0,13
fundo	-	0,075	0,13	0,13		100,00	
Total			100,11	100	3,96		MF = 4,0

Fonte: Própria autora.

Figura 18 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar da etapa preliminar

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	0	0,00	0,00		100,00
N.º 8	-	2,38	1,14	2,26	2,26		97,74
N.º 16	-	1,19	29,64	58,87	61,13		38,87
N.º 30	-	0,595	14,08	27,96	89,10		10,90
N.º 50	-	0,297	3,4	6,75	95,85		4,15
N.º 100	-	0,149	1,74	3,46	99,30		0,70
fundo	-	0,075	0,35	0,70		100,00	
Total			50,35	100	3,48		MF = 3,5

Fonte: Própria autora.

Na Figura 18 observa-se que 92,88% da massa total ensaiada das partículas de pinus são maiores que 1,2 mm, porém 95,7% dessa massa, ficou retida na peneira de nº 16, ou seja, possuem granulometria na faixa de 1,2 à 2,4 mm. Já de acordo com a Figura 28, observa-se que 58,87% das partículas de bagaço de cana apresentam granulometria entre 1,19 e 2,4 mm e que 27,96% apresentam granulometria entre 0,596 e 1,19 mm.

- Programa definitivo – etapa principal

Para esta etapa, as partículas de pinus utilizadas nos painéis foram as mesmas utilizadas na etapa preliminar, portanto, considerou-se os mesmos resultados apresentados na composição granulométrica da Figura 19. Considerando-se os ajustes propostos para essa etapa, foram realizados novos ensaios às partículas de bagaço de cana-de-açúcar, onde essas apresentaram módulo de finura (MF) igual a 4,2 (Figura 19).

Figura 19 - Composição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar da etapa principal

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: Própria autora.

Observa-se, na Figura 19, ao comparar a composição granulométrica das partículas de bagaço de cana-de-açúcar da primeira etapa com o da etapa principal, que as partículas maiores que 4,76 mm eram inexistentes e na etapa principal 15% de partículas ficaram maiores que 4,76 mm, vê-se também na porcentagem retida acumulada, que anteriormente, na etapa preliminar, apenas 2,26% das partículas eram maiores que 2,38 mm já na etapa principal pôde-se aumentar esse valor para 45,50%. Portanto o objetivo de propiciar uma composição granulométrica com partículas mais longas foi atendido.

- Determinação do teor de umidade das partículas

A determinação do teor de umidade das partículas foi efetuada em um ensaio adaptado da NBR 9939 (ABNT, 1987) onde a pesagem de três amostras do material deu origem ao cálculo do teor de umidade, efetuado em intervalos sucessivos até que a umidade final do material após o período em estufa atingisse o valor estipulado. As amostras dos materiais foram submetidas à estufa em temperatura de 105 ± 2 °C. E este cálculo foi realizado através da Equação 1.

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

Onde:

U = teor de umidade das partículas (%);

M_u = massa úmida das partículas (g);

M_s = massa seca das partículas (g).

Para a primeira etapa do trabalho, as partículas atingiram a umidade proposta de 10% apenas com secagem ao ar livre. Para a segunda etapa, as partículas do tratamento confeccionado com UF foram levadas à estufa até atingirem uma umidade em torno de 3%, enquanto que as partículas do tratamento confeccionado com PU-M passaram apenas por secagem ao ar livre, atingindo uma umidade média de 10%.

4.2.3 Procedimentos para produção dos painéis

- Adição e homogeneização do adesivo às partículas

Para os painéis produzidos com PU-M, o adesivo foi adicionado e misturado ao substrato em duas etapas. Inicialmente adicionou-se e homogeneizou-se o polioliol (derivado do óleo de mamona) e, em seguida, adicionou-se e homogeneizou-se o pré-polímero (derivado do petróleo), pois, de acordo com Silva e Lahr (2007), tal procedimento propicia uma melhor homogeneização do PU-M ao substrato.

A resina UF foi preparada de acordo com os procedimentos propostos por Eleoterio (2000), ou seja, emulsão de parafina na proporção de 1% de sólidos em relação à massa das partículas, com o objetivo de reduzir a higroscopicidade final dos painéis e utilizando-se também, sulfato de amônia na dosagem de 2,5% de sólidos de catalisador, em relação ao teor de sólidos da resina e água para promover a dissolução dos materiais, com o objetivo de atingir o teor de umidade desejado para o colchão de partículas.

Inicialmente, realizou-se a adição manual de cada um dos adesivos para cada tratamento proposto para produção dos painéis (Figura 20). Em seguida, realizou-se a homogeneização por meio de uma encoladeira de tambor.

Figura 20 - Processo de homogeneização manual do adesivo: (a) Adição do adesivo;
(b) Homogeneização manual

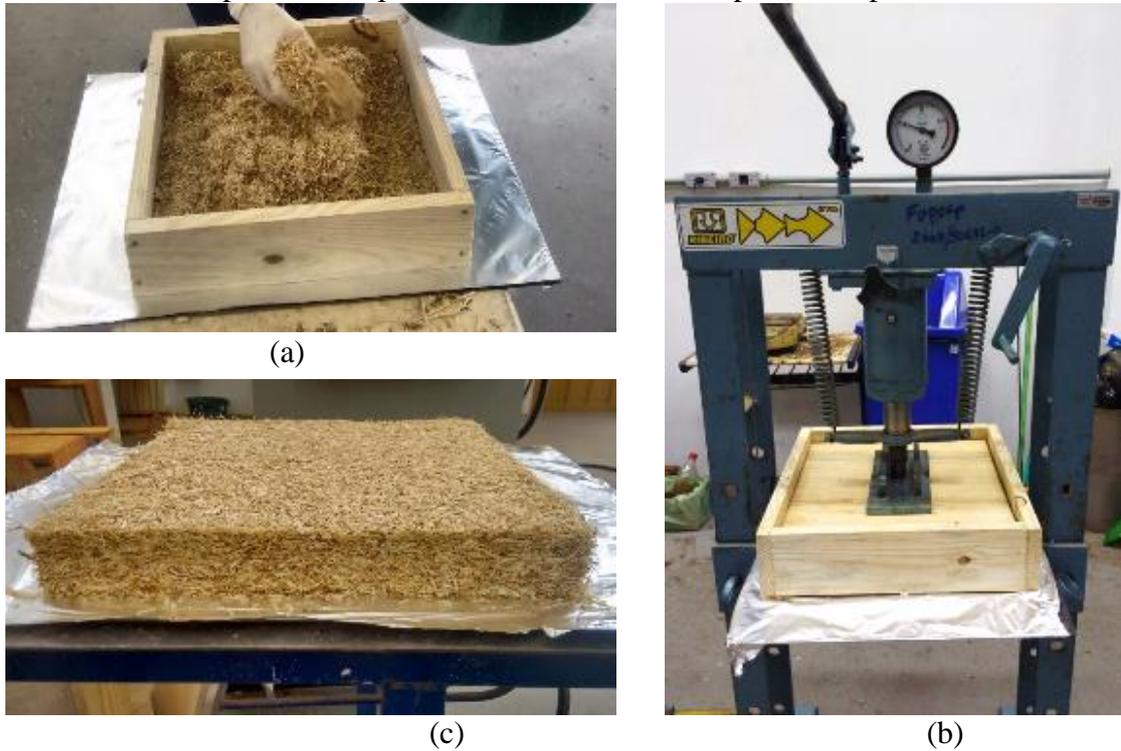


Fonte: Própria autora.

- Produção do colchão de partículas

Após adição e homogeneização de adesivo às partículas, realizou-se os procedimentos para preparação do colchão de partículas, objetivando-se conferir à massa de partículas uma forma inicial para em seguida proceder a compactação e obtenção dos painéis. Conforme ilustrado na Figura 21, para preparação do colchão de partículas utilizou-se uma formadora de colchão e uma prensa hidráulica com pressão de 5 t.

Figura 21 - Preparação do colchão de partículas: (a) Acomodação das partículas na formadora de colchão; (b) Pré prensagem manual com 5 t; (c) Colchão de partículas pronto para ser compactado em prensa com controle de temperatura e pressão

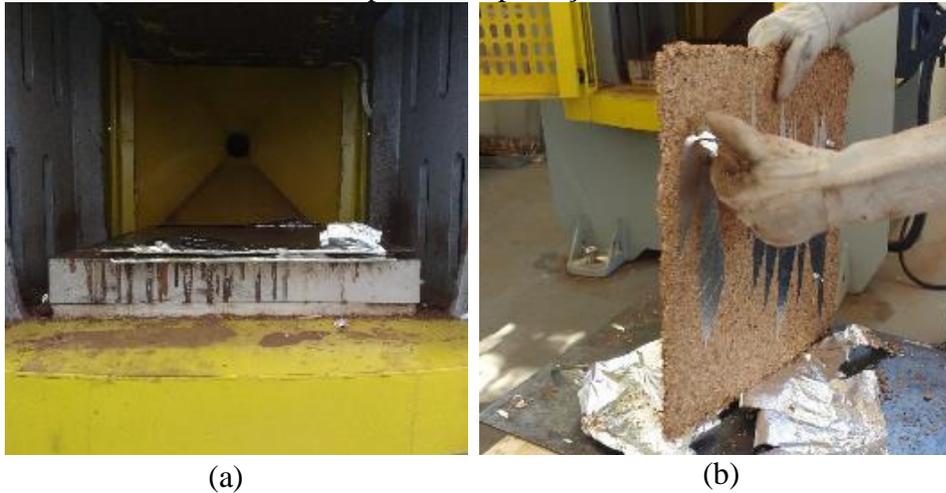


Fonte: Própria autora.

- Prensagem dos painéis

A prensagem foi realizada utilizando-se uma prensa hidráulica com aplicação de 62 t para produção de painéis com área de 1225 cm², gerando assim, uma pressão de 5 Kgf/cm² sobre o colchão de partículas e temperatura de 100 °C para o adesivo PU-M e 130 °C para a resina UF. O tempo total de prensagem foi de 10 minutos, sendo que no processo intercala-se 3 minutos de prensagem seguidos de alívio de pressão de 30 segundos (degasagem), para se evitar a concentração de gases no interior dos painéis e assim consequentemente a formação de bolhas. Na Figura 22 ilustram-se a compactação de um painel na prensa e um painel logo após a compactação.

Figura 22 - Preparação de um painel aglomerado: (a) compactação do painel; (b) painel logo após a compactação



Fonte: Própria autora.

Os painéis produzidos foram acondicionados por um período de 72 horas para estabilização e cura completa do aglutinante. Decorridas 72 horas, os painéis foram esquadrejados em serra circular, a fim de serem preparados os corpos de prova padronizados para caracterização das propriedades físicas e mecânicas de acordo com a ABNT NBR 14810-2 (2013).

Como já citado anteriormente no texto, na etapa preliminar foram produzidos 3 painéis para cada tratamento e na etapa principal foram produzidos 4 painéis para cada tratamento, em ambas etapas as dimensões dos painéis foram 35 x 35 x 1 cm.

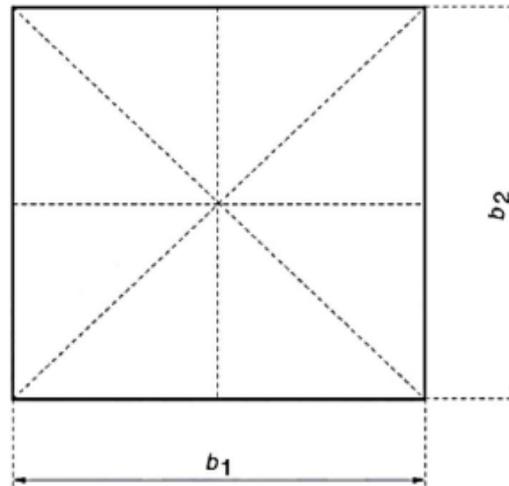
4.3 Ensaios

Para avaliação dos painéis foram realizados ensaios físicos (inchamento e absorção de água, densidade e teor de umidade) e ensaios mecânicos (tração perpendicular, módulo de elasticidade e resistência à flexão estática) para caracterização dos painéis de acordo com recomendações da ABNT NBR 14810-2 (2013).

A norma ABNT NBR 14810-2 (2013) especifica que para realização de cada ensaio (tração perpendicular, flexão estática, densidade, umidade, e inchamento) dos painéis são necessários no mínimo 10 corpos de prova. Assim, foram preparados 12 corpos de prova por tratamento para cada ensaio, ou seja, na etapa preliminar retiraram-se 4 corpos de prova por painel, pois eram 3 painéis por tratamento, obtendo assim o total de 12 corpos de prova e na etapa principal retiraram-se 3 corpos de prova por painel, pois eram 4 painéis por tratamento, obtendo assim novamente 12 corpos de prova.

Na Figura 23 é ilustrado um desenho esquemático das dimensões nominais exigidas pela ABNT NBR 14810-2 (2013) dos corpos de provas para realização dos ensaios de tração perpendicular, densidade, umidade, e inchamento (50 x 50 x 10 mm).

Figura 23 - Pontos de medição no corpo de prova



Fonte: ABNT (2013b).

Para a realização do ensaio de flexão estática os corpos de prova foram de acordo com as especificações da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), ou seja, comprimento 20 vezes a espessura + 50 mm e com largura de 50 mm.

4.3.1 Determinação da densidade

Para a determinação da densidade dos painéis, utilizou-se a Equação 3 conforme orientação normativa:

$$D = \frac{m}{v} \times 1000\ 000 \quad (\text{Equação 3})$$

Sendo:

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

Onde:

D = densidade do corpo-de-prova (kg/m³);

m = massa do corpo de prova (g);

v = volume do corpo de prova (mm³);

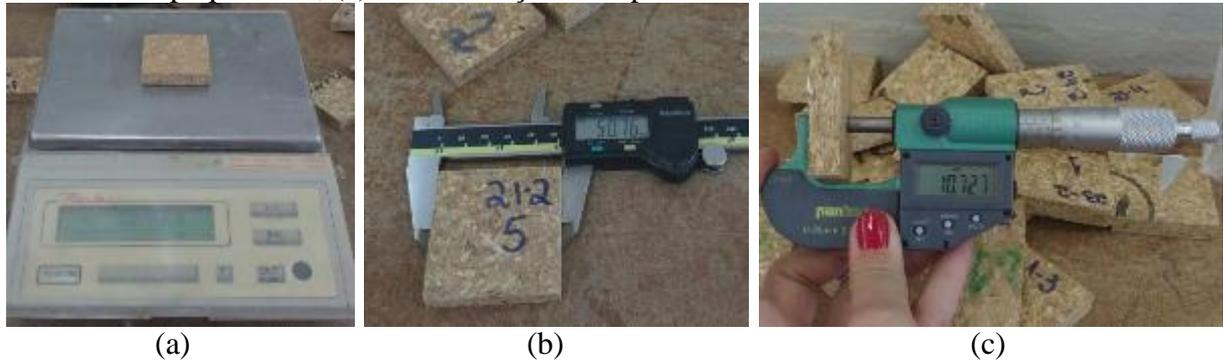
l = largura do corpo de prova (mm);

c = comprimento do corpo de prova (mm);

e = espessura do corpo de prova (mm).

Na Figura 24 ilustram-se as medições realizadas nos corpos de prova para determinação da densidade.

Figura 24 - Aferição das dimensões dos corpos de prova para determinação das densidades: (a) Determinação da massa; (b) Determinação do comprimento e da largura utilizando-se paquímetro; (c) Determinação da espessura utilizando-se micrômetro



Fonte: Própria autora.

4.3.2 Determinação do inchamento 24h

Para o ensaio de inchamento realizou-se a medição da espessura dos corpos de prova, por meio de um micrômetro, antes e depois de submergi-los por 24 horas em um recipiente com água deionizada. Em seguida utilizou-se a equação 4 para os cálculos do inchamento.

$$I = \frac{e_1 - e_0}{e_0} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

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

e₁ = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado (mm);

e₀ = espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

Na Figura 25, observam-se os corpos de prova submersos em água deionizada.

Figura 25 - Corpos de prova submersos em água deionizada



Fonte: Própria autora.

Na Figura 26 observam-se os corpos de prova retirados da água após 24h para realização das medidas.

Figura 26 – Corpos de prova retirados da água para realização das medições: (a) vista lateral; (b) vista frontal



Fonte: Própria autora.

4.3.3 Determinação da umidade

A umidade foi determinada pela diferença de massa dos corpos de prova submetidos a secagem em estufa a uma temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, por meio da Equação 6.

$$U = \frac{mu - ms}{ms} \times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

U = umidade residual do corpo de prova (%);

mu = massa úmida do corpo de prova (g);

ms = massa seca do corpo de prova (g).

Na Figura 27, observam-se os corpos de prova submetidos a processo de secagem em estufa até estabilização das suas massas, ou seja, por um período de 24 horas.

Figura 27 – Corpos de prova em processo de secagem



Fonte: Própria autora.

4.3.4 Determinação da Resistência à Flexão Estática (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE)

Os ensaios para determinação do módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) foram realizados utilizando-se uma máquina universal de ensaios de acordo com os procedimentos normativos da ABNT NBR 14810-2 (2013), conforme ilustrado na Figura 28. Para calcular o MOR e o MOE utilizaram-se as equações 7 e 8:

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

Onde:

MOR = módulo de ruptura (MPa);

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

D = distância entre apoios do aparelho (mm);

B = largura do corpo de prova (mm);

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

Para determinação do módulo de elasticidade (MOE) foi utilizada a Equação 8:

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

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (MPa);

P1 = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

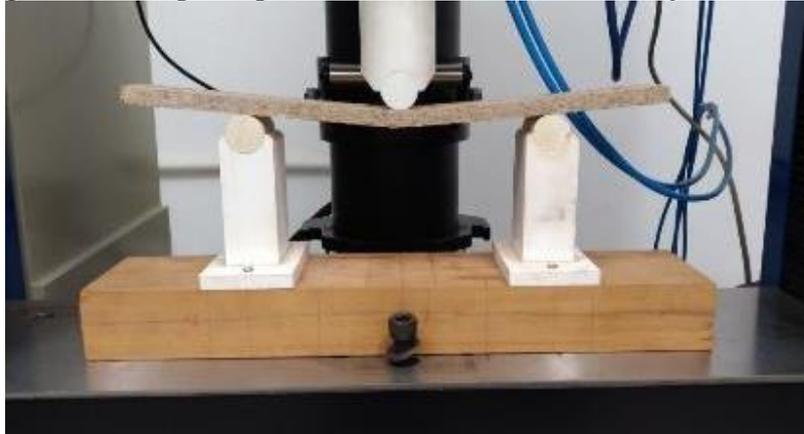
D = distância entre os apoios do aparelho (mm);

d = deflexão correspondente à carga P1 (mm);

B = largura do corpo de prova (mm);

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

Figura 28 - Corpo de prova de flexão durante a execução do ensaio



Fonte: Própria autora.

4.3.5 *Determinação da Resistência à Tração Perpendicular ou Adesão Interna*

Os corpos de prova foram preparados e avaliados de acordo com a norma ABNT NBR 14810-2 (2013) por meio da Equação 9.

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

Onde:

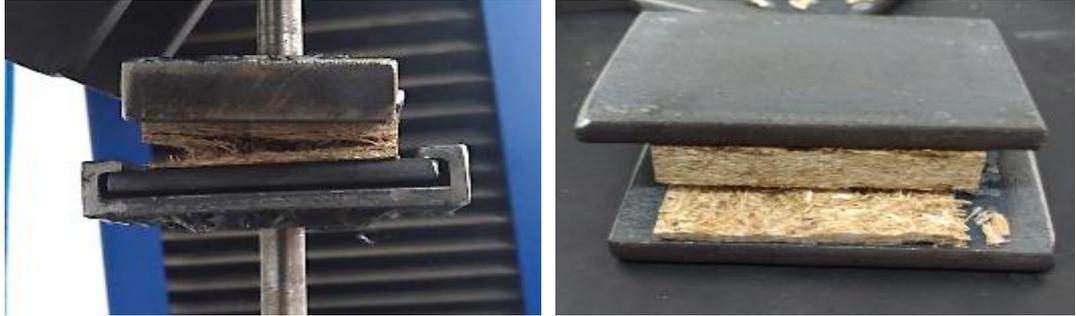
TP = resistência à tração perpendicular (MPa);

P = carga na ruptura (N);

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

Ressalta-se que para realização deste ensaio, foi necessário que os corpos de prova fossem fixados em suportes metálicos retangulares utilizando-se o “*Adesivo Compound*”, que se constitui de um adesivo epóxi bicomponente. Na Figura 29 ilustra-se os aspectos gerais da realização do ensaio.

Figura 29 - Ensaio de tração perpendicular: (a) Aspectos gerais do ensaio de tração perpendicular; (b) Aspectos gerais do corpo de prova com o suporte metálico após ruptura



(a)

(b)

Fonte: Própria autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Avaliação das propriedades dos painéis da etapa preliminar

Destaca-se que nesta etapa produziu-se 4 tratamentos conforme foi apresentado na Tabela 8 e para realização de cada ensaio (densidade, umidade, inchamento, tração perpendicular e flexão estática) dos painéis foram ensaiados 12 corpos de prova por tratamento.

5.1.1 Propriedades físicas

Na Tabela 10 observam-se a densidade aparente média de cada tratamento e seu respectivo módulo máximo de variação (D%), conforme apresenta a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b). Observa-se também os valores recomendados pelo documento normativo NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

Tabela 10 - Valores de densidade aparente

Tratamento	Densidade	Variação da Densidade
T _{1.1}	856	3
T _{2.1}	909	2
T _{3.1}	777	3
T _{4.1}	778	4
NBR 14810-2:2013	551 a 750 (kg/m³)	± 7%

Fonte: Própria autora.

A densidade de um painel está relacionada à compactação do material, isto é, painéis que apresentam altas densidades, supostamente têm suas partículas bem compactadas e fortemente agregadas pelo adesivo, podendo ser possível inferir que o painel apresentará valores de propriedades de resistência significativas (ALVES, 2013).

Considerando-se os valores para as densidades médias, os painéis podem atender os parâmetros de painéis considerados de alta densidade. Ressalta-se que os painéis produzidos com PU-M apresentaram densidades superiores em relação aos painéis com UF. Esse fato pode ser explicado em função das diferenças de sólidos contidas em cada adesivo, ou seja, resina UF entre 58 a 62% e PU-M de 100%, pois, segundo Dias (2005), quanto maior a quantidade de sólidos maior a perda de água e, conseqüentemente, maior densidade, uma vez que a espessura e a quantidade de adesivo permanecem as mesmas.

Na Tabela 11 observam-se os resultados de ensaios de umidade e inchamento após 24h.

Tabela 11 - Percentuais de umidade e inchamento após 24h

Tratamento	Umidade	Inchamento 24h
T _{1.1}	10	18
T _{2.1}	10	16
T _{3.1}	11	94
T _{4.1}	11	82
NBR 14810-2:2013	5 a 13 (%)	18 (%)

Fonte: Própria autora.

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), os valores médios de umidade apresentados na Tabela 11 estão dentro dos limites propostos entre 5 a 13%. Entretanto, os percentuais de inchamento para os painéis produzidos com UF estão muito acima do valor máximo normatizado (18%). De acordo com Maloney (1993), o teor de umidade ideal das partículas na fabricação de painéis produzidos com resina ureia-formaldeído, deve se situar na faixa de 3 a 6%, todavia, neste trabalho foram produzidos painéis empregando-se UF com partículas na faixa de 7%, ou seja, acima dos percentuais verificados por Maloney, conseqüentemente, ocorreram, problemas de formação de bolhas e “delaminação” em quase todos os painéis (Figura 30). Dessa forma, verificou-se a necessidade de adequar o teor de umidades das partículas dos tratamentos T₃ e T₄ para a faixa proposta por Maloney.

Figura 30 - Aspectos gerais da delaminação dos painéis



Fonte: Própria autora.

5.1.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 12 observam-se valores das propriedades mecânicas (módulo de ruptura – MOR, módulo de elasticidade – MOE e tração perpendicular – TP) determinados para os painéis produzidos com PU-M e UF, seguidos dos valores recomendados pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

Tabela 12 - Valores de MOR, MOE e TP

Tratamento	MOR	MOE	TP
T _{1.1}	15	1800	0,42
T _{2.1}	17	2045	0,62
T _{3.1}	3	486	-
T _{4.1}	4	495	-
NBR 14810-2:2013	11MPa	1800MPa	0,40MPa

Fonte: Própria autora.

Os valores obtidos evidenciam a eficiência do adesivo PU-M, propiciando resistências conforme as exigências do documento normativo brasileiro. Entretanto, para os painéis produzidos com resina UF verificam-se valores muito abaixo das exigências normativas e também verifica-se que nem foi possível realizar o ensaio de tração perpendicular devido aos problemas de formação de bolhas e “delaminação” dos painéis, conforme foi apresentado na Figura 30 porém. Porém, vale ressaltar que empregou-se a resina UF com teores de umidade das partículas acima da faixa recomendada por Maloney (1993). Sendo assim, verificou-se a necessidade de ajustes no teor de umidade das partículas para a faixa recomendada de 3 a 6%, objetivando-se melhorar as propriedades mecânicas, bem como as propriedades físicas dos painéis.

5.2 Considerações sobre os resultados obtidos na etapa preliminar

- As densidades obtidas possibilitaram classificar os painéis como “painéis de alta densidade” (Tabela 10), ou seja, acima da densidade estipulada pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), que é 750 kg/m³.
- Com os valores obtidos de umidade, inchamento após 24h (Tabela 11), módulo de elasticidade e módulo de ruptura (Tabela 12), constatou-se que os painéis com PU-M atenderam aos requisitos normativos estabelecidos e apresentaram melhores resultados em relação aos painéis produzidos com resina UF, apesar de que, os painéis produzidos

com resina UF necessitariam que as partículas tivessem o teor de umidade ajustado para a faixa de 3 a 6%.

- Quanto aos valores de resistência à Tração Perpendicular dos painéis com PU-M superaram os valores mínimos de referência da norma utilizada. Entretanto, para os painéis produzidos com resina UF, não foi possível realizar os ensaios devido a problemas de delaminação por excesso de umidade (Figura 30).
- Quanto ao emprego das partículas de bagaço de cana-de-açúcar em misturas com partículas de pinus para produção dos painéis, verificou-se que para ambas as resinas utilizadas, o percentual de partículas de madeira influencia no ganho de resistência dos painéis.

Considerando-se os resultados obtidos, verificou-se a necessidade de ajustes com relação ao teor de umidade das partículas dos tratamentos com resina UF (T_{3.1} e T_{4.1}) para intervalos entre 3 e 6%. Entretanto, evidenciou-se que o melhor tratamento para produção dos painéis foi o T_{2.1}, com 60% de madeira de pinus e 40% de bagaço de cana-de-açúcar e empregando-se 10% de PU-M; esses parâmetros propiciaram boas propriedades aos painéis, possibilitando classificá-los como “Painéis não estruturais para uso interno em condições secas”, com base na NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), são painéis aglomerados de madeira do Tipo “P2”.

Conseqüentemente, os parâmetros foram ajustados e novos painéis foram produzidos com os tratamentos T_{2.1} e T_{4.1} com 60% de partículas de pinus e 40% de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e 10% de resina, tanto com PU-M, como com UF, respectivamente. Vale ressaltar que para o emprego da resina UF e PU-M, os teores de umidade das partículas foram ajustados para 3% e 10%, respectivamente.

5.3 Avaliação das propriedades dos painéis da etapa principal

Nesse capítulo apresenta-se os resultados de ensaios referentes às propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos com os ajustes de parâmetros. Foram analisados 12 corpos de prova por tratamento para cada propriedade, e realizado uma análise estatística descritiva. E, como o número de elementos analisados de cada tratamento foi menor que 30 corpos-de-prova, avaliaram-se inicialmente a normalidade dos dados para comparação dos tratamentos.

Após a avaliação da normalidade através do Teste Kolmogorov Smirnov através do pacote estatístico Minitab 18, os dados foram analisados estatisticamente quanto a estatística

descritiva e comparação de médias com os testes paramétrico t de Student e não paramétrico Mann – Whitney.

5.3.1 Propriedades físicas

A partir dos ensaios para a determinação da densidade dos painéis de cada tratamento, calculou-se a densidade média e o módulo máximo de variação da densidade (D%). Os valores obtidos foram comparados com os valores mínimos propostos pelo documento normativo, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores da densidade aparente

Tratamento	Densidade média	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança
T _{2.2}	1060	2	31	1038 a 1083
T _{4.2}	935	4	41	906 a 965
NBR 14810-2:2013	551 a 750 (kg/m³)	± 7%	-	-

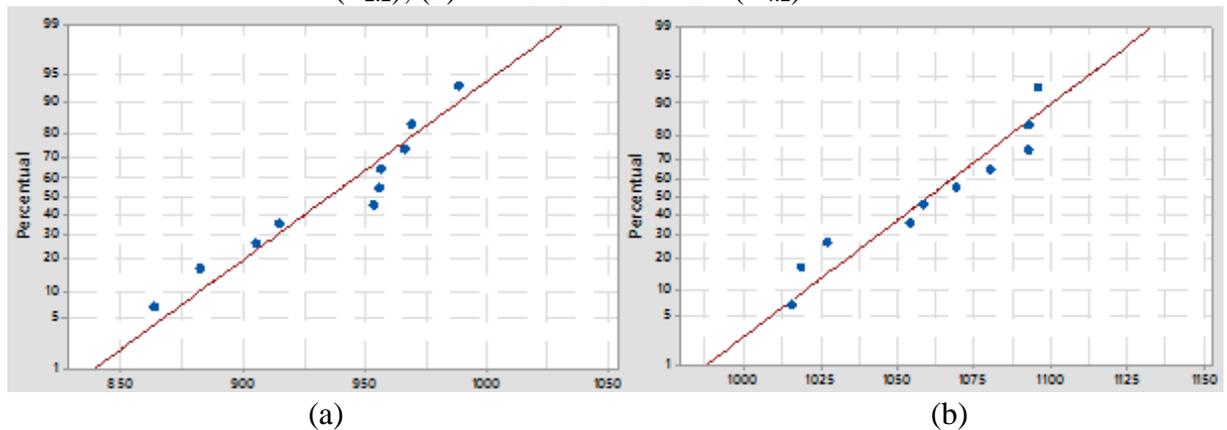
Fonte: Própria autora.

De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), painéis com densidades entre 551 e 750 Kg/m³ são definidos como painéis de partículas de média densidade. Os resultados de densidade na Tabela 13 evidenciam densidades acima do proposto pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), consequentemente podem ser considerados como painéis de alta densidade, verificou-se também que os coeficientes de variação se encontram dentro do proposto pela referida norma, ou seja < 7%.

Ressalta-se que a NBR 14810-1 e 2 (ABNT, 2013a, b) utilizada para MDP, não classifica painéis com densidade acima de 750 Kg/m³ (como os ensaiados nesse estudo), no entanto, o documento normativo para painéis MDF, NBR 15316-2 (ABNT, 2015), define 800 kg/m³ como valor mínimo para classificação de painéis de fibras do Tipo HDF – Painéis de alta densidade para uso geral em condições secas.

Na Figura 31 observa-se o gráfico que evidencia a normalidade dos dados obtidos para caracterização da densidade dos painéis.

Figura 31 – Análise da normalidade para a densidade aparente: (a) Tratamento com PU-M (T_{2.2}); (b) Tratamento com UF (T_{4.2})



Fonte: Própria autora.

Na Figura 31 observa-se que os valores de densidade obtidos para os painéis do tratamento T_{2.2} não seguem uma distribuição normal, pois $p > 0,042$. Por outro lado, os valores de densidade referentes aos painéis do tratamento T_{4.2} se apresentaram com distribuição normal pois $p > 0,150$, ou seja, $p > 0,05$. Considerando-se as análises realizadas para avaliação da normalidade dos valores de densidade e, como se verificou a não normalidade para os resultados obtidos para uma parte dos painéis, conseqüentemente realizou-se o teste não paramétrico Mann Whitney, possibilitando concluir que a diferença entre as amostras é de 124 kg/m³ com 95% de confiança de que a diferença está entre 89 e 164 kg/m³, entre painéis de UF e de PU-M.

De acordo com Dias (2005), as diferenças entre as densidades dos painéis se deve às características de cada adesivo, ou seja, no caso da resina UF, a quantidade de sólidos contidos em sua composição é de no máximo 62%, enquanto que, para o PU-M é de 100%, esse fato pode ter propiciado uma significativa diferença de densidade entre os painéis. Considerando-se as diferenças entre as densidades dos painéis, propôs-se ajustar a densidade nominal para produção de novos painéis na faixa de 620 Kg/m³. Todavia, de acordo com a avaliação realizada, verificou-se um aumento da densidade, cujo fato pode ser explicado em função da diminuição da espessura devido a diminuição da massa e maior facilidade da compactação para produção dos painéis.

Com relação à avaliação do teor de umidade dos painéis, a Tabela 14 apresenta uma análise descritiva dos resultados de umidade dos painéis com PU-M e UF, contendo a média, o coeficiente de variação e o desvio padrão.

Tabela 14 - Valores do teor de umidade.

Tratamento	Teor de umidade	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança
T _{2.2}	8,4	0,8	0,1	8,4 a 8,5
T _{4.2}	6,4	3,3	0,3	6,2 a 6,6
NBR 14810-2:2013	5 a 13%	-	-	-

Fonte: Própria autora.

Observa-se que os valores médios determinados para o teor de umidade apresentados na Tabela 14 estão de acordo com as exigências da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b). Dessa forma, é possível afirmar que os resultados obtidos são homogêneos, devido aos baixos valores do coeficiente de variação, ocorrendo assim, pouca dispersão de valores em torno das medias avaliadas.

O teor de umidade de 6,4% dos painéis produzidos com adesivo UF é compatível com as exigências da NBR 14810-2 (ABNT, 2014b) e, segundo (OLIVEIRA *et al.*, 2016), estudos realizados em painéis MDP produzidos por indústrias brasileiras (painéis comerciais nacionais), demonstram teor de umidade de 10,9%, ou seja, superior ao valor determinado nos estudos desenvolvidos neste trabalho.

A Tabela 15 apresenta os dados descritivos dos resultados médios obtidos nos ensaios para a determinação do inchamento após 24h dos painéis.

Tabela 15 – Valores do percentual de inchamento após 24h

Tratamento	Inchamento 24h	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança (95%)
T _{2.2}	6,8	19,9	1,6	5,6 a 7,9
T _{4.2}	62,6	7,6	6,1	58,3 a 66,9
NBR 14810-2:2013	18%	-	-	-

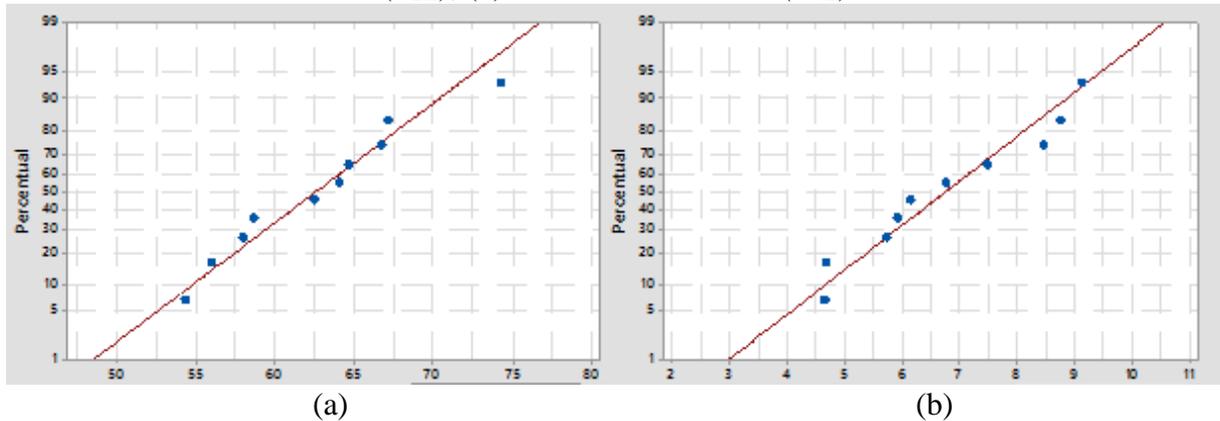
Fonte: Própria autora.

Observa-se na Tabela 15 que os painéis produzidos com resina UF obtiveram um inchamento médio após 24 horas de 62,6% com intervalo de confiança entre 58,3 a 66,9%, enquanto que a média para os painéis de PU-M foi de 6,8% com intervalo de confiança entre 5,6 a 7,9%. Em estudos desenvolvidos por Barros Filho *et al.* (2011) com painéis aglomerados produzidos com 50% de partículas de bagaço de cana e 50% de partículas de pinus, empregando-se resina ureia-formaldeído, foram determinados teores de inchamento após 24h de 33,2%. Todavia vale ressaltar que de acordo com a norma brasileira o valor máximo

recomendado para o inchamento 24h é de 18%, ou seja, ambos estudos desenvolvidos ultrapassaram as exigências normativas, exceto, quanto aos painéis produzidos com PU-M.

Na Figura 32 observa-se a análise da normalidade dos dados para os dois tratamentos

Figura 32 - Análise da normalidade para o inchamento após 24h: (a) Tratamento com PU-M (T_{2.2}); (b) Tratamento com UF (T_{4.2})



Fonte: Própria autora.

De acordo com os gráficos ilustrados na Figura 32, verifica-se distribuição normal dos valores determinados, pois, $p > 0,150 > 0,05$ para as amostras de painéis produzidos com os dois tipos de adesivos. Como as duas amostras possuem distribuição normal, utilizou-se o teste t de Student (amostras independentes) para a comparação entre as médias. Assim, foi possível concluir que as médias dos valores determinados para os painéis produzidos com UF e PU-M, diferem estatisticamente em 55,83% pois $p = 0,000 < 0,05$, e com 95% de confiança de que a diferença está entre 51,41% e 60,25%.

Os resultados obtidos com relação ao inchamento após 24 possibilitam inferir sobre a adequada estabilidade dimensional dos painéis produzidos com PU-M, entretanto, com relação aos painéis produzidos com resina UF, verificou-se valores significativamente altos. Isso pode explicar os problemas que ocorrem com relação a baixa estabilidade dos painéis aglomerados produzidos com esse tipo de resina. Segundo Marra (1992) e Dias (2005), a baixa resistência a umidade de painéis aglomerados produzidos com resina UF, limita o seu emprego ao uso em condições de umidade dos painéis.

5.3.2 Propriedades Mecânicas

Com relação ao módulo de ruptura (MOR) e de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) o valor mínimo para painéis não estruturais para uso interno em condições secas é de

11 MPa. A Tabela 16 apresenta uma análise descritiva dos valores de MOR dos painéis produzidos com PU-M e com resina com UF.

Tabela 16 - Valores do módulo de resistência à flexão estática

Tratamento	MOR	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança
T _{2,2}	35	10	6	31 a 39
T _{4,2}	15	19	4	12 a 18
NBR 14810-2:2013	11 MPa	-	-	-

Fonte: Própria autora.

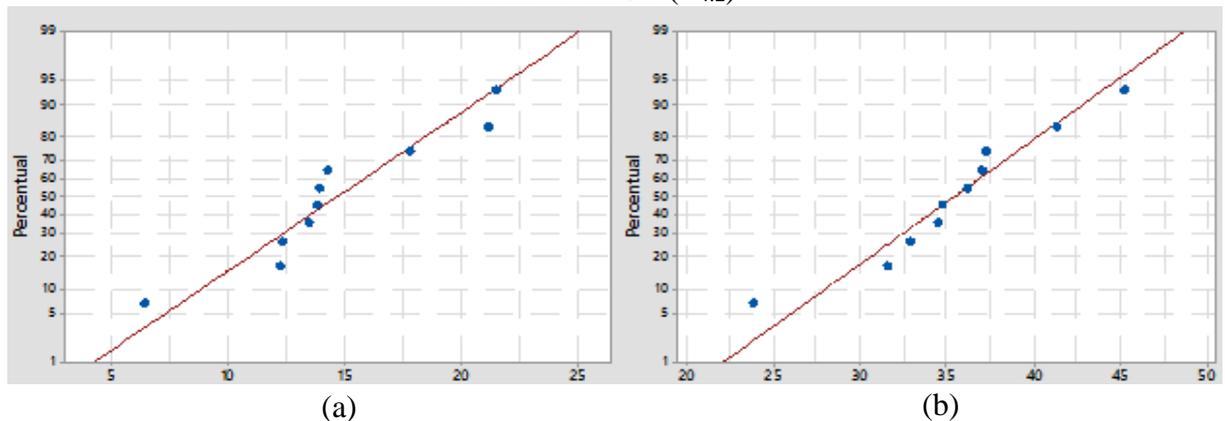
Na Tabela 16, verifica-se que o valor médio do MOR dos painéis produzidos com resina UF foi de 15 MPa, com intervalo de confiança entre 12 e 18 MPa, atendendo a exigência mínima da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) de 11 MPa. Já o valor médio dos painéis produzidos com PU-M foi de 35 MPa, com intervalo de confiança entre 31 e 39 MPa, ou seja, valor acima do mínimo exigido por esse documento normativo. Observou-se também que o coeficiente de variação de ambos os tratamentos é inferior a 30%, possibilitando inferir que os painéis são homogêneos.

Deve-se notar, também, que os valores do MOR para os painéis com a resina UF estão acima dos valores encontrados por Mendes (2008) para aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina ureia-formaldeído (MOR = 9,74 MPa) e muito superiores aos valores encontrados por Barros Filho *et al.* (2011) para painéis aglomerados produzidos com 50% de bagaço e 50% de pinus e resina ureia-formaldeído (MOR = 3,42 MPa).

De acordo com Dias (2005) em estudos desenvolvidos para painéis produzidos de partículas de madeira aglomeradas com resina poliuretana à base de mamona, encontrou-se valores de MOR iguais a 18 MPa, ou seja, inferiores aos valores encontrado neste trabalho.

Na Figura 33 observa-se a análise da normalidade para os valores de MOR em painéis produzidos com os dois tratamentos.

Figura 33 - Análise da normalidade para o MOR: (a) Tratamento com PU-M ($T_{2,2}$); (b) Tratamento com UF ($T_{4,2}$)



Fonte: Própria autora.

Verifica-se nos gráficos que os valores de MOR se caracterizam por apresentarem uma distribuição normal, pois, para o tratamento $T_{2,2}$, $p = 0,110 > 0,05$ e para $T_{4,2}$, $p > 0,150 > 0,05$ e, conseqüentemente, aplicou-se o teste t de Student (amostras independentes) para a comparação entre as suas médias. Conseqüentemente, foi possível concluir que as médias das amostras dos dois tratamentos diferem estatisticamente em 20 MPa, pois $p = 0,000 < 0,05$, com 95% de confiança de que essa diferença está entre 15,88 e 25,57 MPa.

Verificou-se que além do MOR dos painéis produzidos com resina UF ser 42% menor que o MOR dos painéis produzidos com PU-M, o coeficiente de variação dos painéis produzidos com UF é significativamente maior com relação aos painéis produzidos com PU-M, ou seja, há maior dispersão dos valores em torno das médias avaliadas dos painéis produzidos com resina UF. Conseqüentemente, verifica-se a eficiência do adesivo PU-M para o MOR, em comparação com a resina UF. Os painéis $T_{2,2}$ como podem ser classificados como estruturais para uso em condições severas de carga, em ambientes secos, ou seja, painéis do tipo P6, de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), onde o valor mínimo exigido para o módulo de ruptura (MOR) deve ser de 20 MPa.

A Tabela 17 apresenta uma análise descritiva dos valores do módulo de elasticidade na flexão estática (MOE) dos painéis produzidos com os adesivos PU-M e UF.

Tabela 17 - Valores do módulo de elasticidade na flexão estática

Tratamento	MOE	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança
T _{2.2}	3555	13	554	3159 a 3951
T _{4.2}	2416	20	654	1913 a 2919
NBR 14810-2:2013	1800 MPa	-	-	-

Fonte: Própria autora.

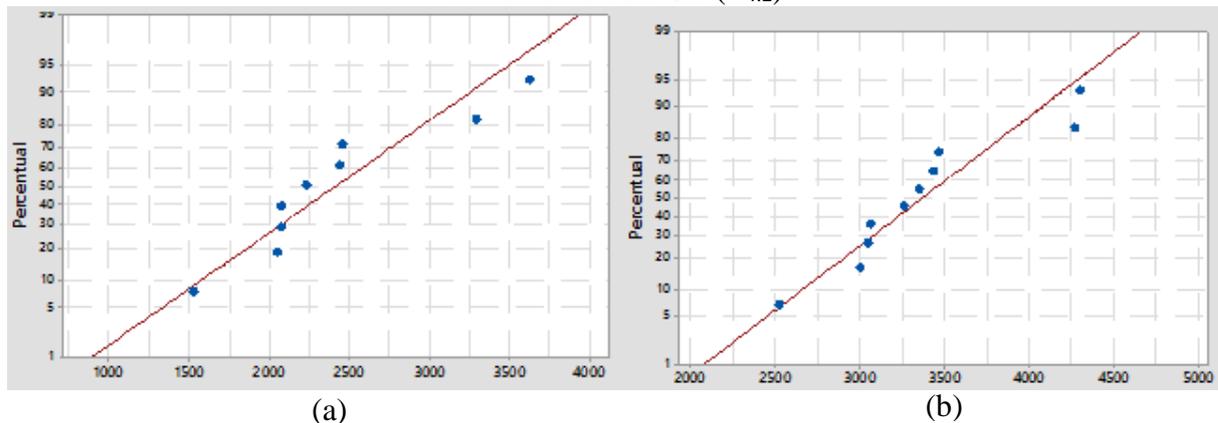
De acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) o valor mínimo do MOE para painéis não estruturais para uso interno em condições secas deve ser de 1800 MPa. Conforme se observa na Tabela 17, o valor médio do MOE dos painéis produzidos com resina UF foi de 2416 MPa, estando seu intervalo de confiança entre 1913 e 2919 MPa e sendo seu coeficiente de variação 20%, enquanto que o MOE para painéis de PU-M foi de 3555 MPa com intervalo de confiança de 3159 a 3951 MPa e coeficiente de variação de 13%, atendendo assim as exigências da norma requerida.

Verifica-se que o MOE para os painéis produzidos com PU-M se apresenta com valores praticamente sendo o dobro do valor mínimo exigido pela norma consultada (1800 MPa) e, os painéis produzidos com resina UF, apesar dos bons valores de resistência, apresentaram uma grande dispersão de valores em torno das médias, ou seja, uma menor homogeneidade se comparados com os painéis produzidos com PU-M.

Os valores obtidos de MOE dos painéis produzidos com a resina UF são maiores que os valores encontrados por Mendes (2008) para painéis aglomerados com bagaço de cana e ureia-formaldeído (MOE = 661 MPa) e maiores que os valores encontrados por Barros Filho *et al.* (2011) para painéis aglomerados produzidos com 50% de bagaço e 50% de pinus e resina ureia-formaldeído (MOE = 710.85 MPa). Para os painéis produzidos com PU-M, foram determinados valores médios de MOE de 3555 MPa, ou seja, muito superiores aos recomendados pelo documento normativo utilizado e também superiores aos valores encontrados para os painéis produzidos de madeira aglomerada com o adesivo PU-M por Dias (2005) (3034 MPa).

Na Figura 34 observa-se a análise da normalidade dos valores de MOE determinados para os painéis produzidos para os dois tratamentos.

Figura 34 - Análise da normalidade para o MOE: (a) Tratamento com PU-M (T_{2,2}); (b) Tratamento com UF (T_{4,2})



Fonte: Própria autora.

Os gráficos para avaliação da normalidade possibilitam verificar que ambos apresentam valores que seguem uma distribuição normal, pois, para o tratamento T_{2,2}, $p = 0,086 > 0,05$ e para T_{4,2}, $p = 0,118 > 0,05$. Assim, utilizou-se o teste t de Student (amostras independentes) para avaliar se as médias dos tratamentos são estatisticamente equivalentes. E concluiu-se que as médias das duas amostras diferem estatisticamente, pois, $p = 0,04 < 0,05$ e essa diferença é de em 1139 MPa, com 95% de confiança que a verdadeira diferença está entre 557 e 1722 MPa.

Dessa maneira, verifica-se através dos resultados de MOE, a boa eficiência do adesivo poliuretano para os painéis do T_{2,2}, pois além de classificá-lo como um painel do tipo P4, também pode-se classificá-lo como um painel do tipo P6, ou seja, painéis estruturais para uso em condições severas de carga em ambientes secos, onde o valor mínimo exigido para o MOE, de acordo com a NBR 14810-2 (ABNT, 2013b) é de 3150 MPa.

A Tabela 18 apresenta os valores de resistência à tração perpendicular (TP) e observa-se uma análise descritiva dos valores médios de TP.

Tabela 18 - Valores de resistência à tração perpendicular (TP)

Tratamento	TP	Coefficiente de variação (%)	Desvio padrão	Intervalo de confiança
T _{2,2}	1,14	6,2	0,1	1,07 a 1,20
T _{4,2}	2,23	11,4	0,3	2,02 a 2,43
NBR 14810-2:2013	0,4 MPa	-	-	-

Fonte: Própria autora.

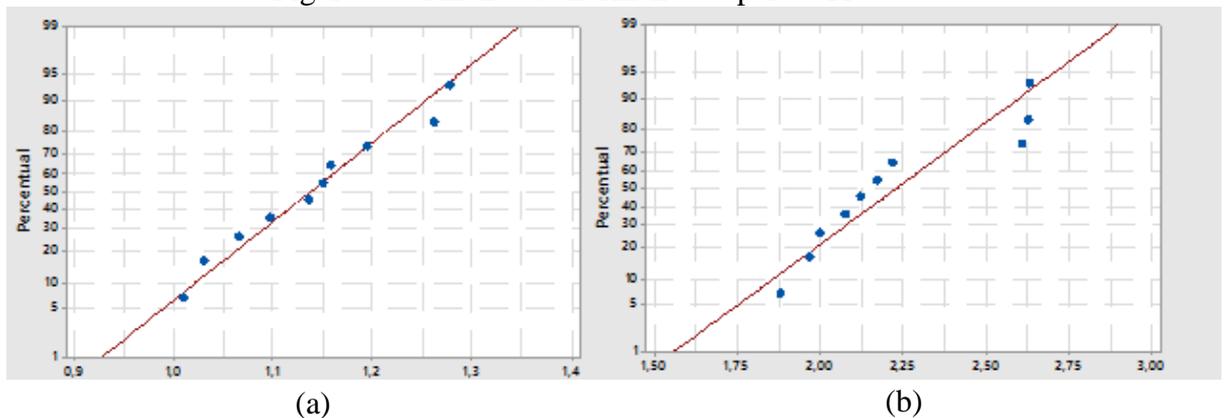
Na Tabela 18 verifica-se que ambos os tratamentos propiciaram painéis com valores que atendem as exigências da NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), sendo o valor médio da TP dos painéis produzidos com UF igual a 1,14 MPa, com intervalo de confiança entre 1,07 e 1,20 MPa e o

valor médio da TP dos painéis produzidos com PU-M igual a 2,23 MPa, com intervalo de confiança entre 2,02 e 2,43 MPa. Também se observa um bom coeficiente de variação, tanto para os painéis produzidos com PU-M como para os painéis com UF, propiciando uma baixa dispersão de valores em torno das médias.

Os valores obtidos para TP dos painéis feitos com UF são superiores aos determinados por Barros Filho *et al.* (2011) para painéis aglomerados produzidos com 50% de bagaço e 50% de pinus e resina UF (TP = 0,53 MPa). Os painéis produzidos com a resina PU-M, também obtiveram TP, superiores aos encontrados por Poletto *et al.* (2013) para painéis de madeira aglomerada produzidos com 50% de pinus e 50% de eucalipto e adesivo PU-M (TP = 0,9 MPa).

Na Figura 35 observa-se a análise da normalidade dos valores obtidos de TP para os painéis dos dois tratamentos.

Figura 35 - Análise da normalidade para a TP



Fonte: Própria autora.

Ao se analisar os gráficos, observa-se que os valores de TP se apresentam com distribuição normal, pois, $p > 0,150 > 0,05$ para as amostras de painéis produzidos com as resinas UF e PU-M. Consequentemente utilizou-se o teste t de Student (amostras independentes) para a comparação entre suas médias, após o teste, verificou-se que as médias diferem estatisticamente, pois $p = 0,00 < 0,05$ e essa diferença é de em 1,1 MPa, com 95% de confiança que a verdadeira diferença está entre 0,88 e 1,30 MPa.

5.3.3 Análise comparativa dos resultados

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013a) subdivide os painéis de partículas de média densidade em 6 categorias de acordo com seus valores mínimos das propriedades físicas e mecânicas. A Tabela 19 apresenta 2 dessas categorias, o P4 (Painéis estruturais para uso em condições secas)

e o P6 (Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas) e apresenta também os resultados dos ensaios físicos e mecânicos dos dois tratamentos estudados neste trabalho (T_{2.2} e T_{4.2}) junto aos seus intervalos de confiança. Assim, na Tabela 19 verificam-se análises comparativas entre os valores normativos mínimos e os valores das propriedades físico-mecânicas obtidos com os ensaios para caracterização dos painéis.

Tabela 19 – Propriedades físico-mecânicas

Propriedades físico-mecânicas	NBR14810		T _{2.2} (PU-M)		T _{4.2} (UF)	
	P4	P6	Média	IC de 95%	Média	IC de 95%
Densidade (Kg/m³)	551 a 750	551 a 750	1060	(1038; 1083)	935	(906; 965)
Umidade (%)	5 a 13	5 a 13	8,4	(8,4; 8,5)	6,4	(6,2; 6,6)
Inchamento (%)	19	16	6,8	(5,6; 7,9)	62,6	(58,3; 66,9)
MOR (MPa)	16	20	35	(31; 39)	15	(12; 18)
MOE (MPa)	2300	3150	3555	(3162; 3948)	2416	(1913; 2919)
TP (MPa)	0,40	0,60	2,23	(2,02; 2,43)	1,14	(1,07; 1,20)

Fonte: Própria autora.

De acordo com o apresentado na Tabela 19, com relação a densidade observa-se que para os painéis de ambos tratamentos, tanto os valores médios quanto os valores dos intervalos de confiança, encontram-se acima do definido para painéis de partículas de média densidade pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b).

Com relação aos valores obtidos na determinação do teor de umidade, constatou-se que os valores médios, assim como os valores dos intervalos de confiança para os painéis dos dois tratamentos, encontram-se dentro do intervalo recomendado pelo documento normativo utilizado.

Quanto aos valores obtidos no ensaio de inchamento em espessura após 24h, para a média e para o intervalo de confiança, observa-se que os painéis produzidos com resina PU-M atenderam aos requisitos normativos estabelecidos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013b), situando-se dentro dos valores recomendados para painéis do tipo P4 e P6, respectivamente. Já os painéis produzidos com resina UF ficaram muito acima do máximo estabelecido pela referência normativa, havendo necessidade de se investigar com maior detalhe o ocorrido.

Considerando-se a propriedade mecânica de módulo de resistência a flexão estática (MOR), a média dos painéis produzidos com ureia-formaldeído (15 MPa) não superou o mínimo determinado para painéis do tipo P4 (16 MPa), dessa forma, mesmo com confiança de que 95% dos valores encontram-se entre 12 e 18 MPa, a sua classificação de acordo com os

resultados do MOR é de painéis do tipo P2 (painéis não estruturais, para uso em condições secas). Já os painéis poliuretanos obtiveram média de 35 MPa e o intervalo de confiança entre 31 e 39 MPa, superando o determinado pela NBR para painéis do tipo P6 (20 MPa). Dessa maneira, verificou-se que os painéis produzidos com PU-M obtiveram valores de MOR aproximadamente 42% superiores ao MOR dos painéis produzidos com UF.

Com relação aos resultados do módulo de elasticidade (MOE), a média dos painéis de ureia foi de 2416 MPa e superou o mínimo determinado para painéis do tipo P4 (2300 MPa), porém com confiança de que 95% dos valores encontram-se entre 1913 e 2919 MPa, desse modo, como o mínimo do intervalo de confiança não supera o mínimo exigido por norma para painéis do tipo P4, a sua classificação levando como referência apenas o MOE, é de painéis do tipo P2 (painéis não estruturais, para uso em condições secas). Já os painéis de PU-M obtiveram média de 3555 MPa com intervalo de confiança de 95% entre 3162 e 3948 MPa, superando o determinado pela NBR para painéis do tipo P6 (3150 MPa). Assim, pode-se inferir que os painéis produzidos com PU-M obtiveram valores de MOE aproximadamente 47% maiores do que os painéis produzidos com ureia-formaldeído.

Quanto aos valores de resistência a tração perpendicular (TP), nota-se que tanto as médias quanto os intervalos de confiança de ambos os tratamentos superaram o mínimo preconizado por norma para painéis do tipo P6.

6 CONCLUSÃO

Com base nas análises realizadas, conclui-se a viabilidade de produção de painéis aglomerados utilizando-se partículas de madeira de pinus misturadas com partículas de bagaço de cana-de-açúcar para ambos os tratamentos, ou seja, produção de painéis de partículas produzidos com 60% de madeira de pinus e 40% de bagaço de cana-de-açúcar empregando-se 10% dos adesivos PU-M e ureia-formaldeído, pois os resultados apresentados superaram, em sua maioria, os valores mínimos preconizados para as propriedades físicas e mecânicas (densidade, umidade, inchamento após 24h, módulo de ruptura, módulo de elasticidade da flexão estática e tração perpendicular) de acordo com a ABNT NBR 14810 - 1 e 2: 2013.

Analisando os painéis produzidos com ureia-formaldeído, com exceção dos resultados obtidos para o inchamento, todas as outras propriedades encontram-se de acordo com os limites mínimos estabelecidos pela norma consultada para “Painéis não estruturais para uso em condições secas (P2)”. Já os painéis produzidos com PU-M obtiveram os valores de todas as suas propriedades dentro dos limites estabelecidos pelo documento normativo para “Painéis estruturais para uso em condições severas de carga, em condições secas (P6)”.

Com relação aos adesivos, como já observado, o PU-M apresentou melhores resultados físicos e mecânicos quando comparado ao UF, destacando-se uma das principais vantagens desse adesivo, a alta resistência à água evidenciada principalmente por meio dos resultados do ensaio de inchamento em espessura. Além de apresentar um excelente desempenho, o adesivo poliuretano se destaca por sua eficiência energética, pois necessita de menores temperaturas de prensagem em comparação a ureia-formaldeído e também por ser, em sua maior parte, de origem renovável, considerando-se a utilização da mamona, planta abundante no Brasil, da qual se extrai o óleo de mamona a partir da semente da planta *Ricinus communis*.

Com os resultados obtidos e analisando ainda os adesivos, destaca-se que mesmo que a utilização da resina UF, em relação a propriedade de inchamento, não tenha atingido o mínimo preconizado pela NBR14810-1 e 2 (ABNT, 2013a, b), os resultados obtidos para as outras propriedades comprovam a viabilidade de sua utilização, pois ao se comparar com resultados da literatura existente, observam-se certa semelhança e com valores muito próximo dos obtidos com os estudos desenvolvidos neste trabalho.

Os resultados obtidos ainda evidenciaram ser possível indicar o aproveitamento dos materiais estudados para a produção de painéis de partículas aglomeradas de alta densidade pois, a densidade dos painéis dos dois tratamentos superou os limites estabelecidos pela norma brasileira.

Neste contexto evidencia-se que o aproveitamento de resíduos, no caso do bagaço de cana-de-açúcar e o uso da resina PU-M, além da contribuição ambiental é uma alternativa viável para a fabricação de painéis aglomerados que poderão ser utilizados na produção de móveis e em várias aplicações na construção civil em especial em estruturas.

7 SUGESTÕES PARA PRÓXIMAS PESQUISAS

- Realizar estudos considerando-se análise por meio de microscopia de varredura para avaliar o comportamento do adesivo entre as partículas, objetivando-se entender melhor os aspectos referentes a adesão interna dos painéis e os problemas ocorridos como o inchamento para os painéis feitos com UF.
- Realizar estudos para avaliação de outras propriedades como o arrancamento de parafuso, emissão de formol e desempenho em face a condições de umidade.
- Estudar painéis produzidos com 50% de madeira de pinus e 50% de bagaço de cana-de-açúcar, pois quanto maior a quantidade de bagaço de cana-de-açúcar maior a viabilidade quanto ao custo.
- Realizar estudos de bagaço com outras espécies de madeira à base de florestas plantadas (mogno africano, acácia, seringueira, entre outras).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira**. São Paulo: Tesis, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira**. Relatório Anual de Atividades do Programa Setorial da Qualidade de Painéis de Madeira – 2012. São Paulo: Tesis, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9939**: agregados: determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1987.
- 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 14810-3**: chapas de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **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.
- ALBERTINI, S.; CARMO, L. F.; PRADO FILHO, L. G. Utilização de serragem e bagaço de cana-de-açúcar para adsorção de cádmio. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, La Habana, v. 27, n. 1, p.113-118, 2007.
- ALVES, L. S.; SILVA, S. A. M. Produção 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: EMBRAMEM, 14., 2014, Natal. **Anais...** Natal: Embramem, p. 1 – 10, 2014.
- ALVES, L. S. **Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para produção e avaliação de painéis aglomerados**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Campus de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2013.
- ARAÚJO, L. C. R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.
- BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia-formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Rede Temática em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Ouro Preto, 2009.

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, 2011.

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

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. Rio de Janeiro: BNDES setorial, 2010. n. 32, p. 49-90,

BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n. 27, p.121-156, mar. 2008.

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**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CERQUEIRA, D. A. *et al.* Caracterização de acetato de celulose obtido a partir do bagaço de cana-de-açúcar por 1H-RMN. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 85-91, 2010.

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

COLLI, A. *et al.* Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum Huber ex. Ducke*) e fibras de coco (*Cocos nucifera L.*). **Revista Árvore**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.333-338, 2010.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: V. 4 - SAFRA 2017/18 N.1 - Primeiro levantamento**. Brasília, 2017.

COSTA, P. R. O.; DUARTE, F. S.; A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**, v. 3, n. 3, p. 2-107, 2010.

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

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Produtos Derivados de Madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos, SP, p. 73-92, 2008.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 158p. São Carlos, São Paulo, 2005.

DYNEA, M. D. Wood adhesion and glued products. **COST Action E13**, 2001.

EISFELD, C. L. **Análise da competitividade entre as indústrias de painéis de madeira: compensado, MDF e OSB no estado do Paraná**. 2009. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

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

EUCATEX. **MDP Eucatex**: Botucatu: Marketing Industria, 2007. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasprofcamargo/mdpluciane.ppt>

OECD/FAO (2017). **OECD-FAO Agricultural Outlook 2017-2026**. OECD Publishing, Paris. Disponível: http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en

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

FIORELLI, J. *et al.* Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, v. 21, n. 5, p.3269-3277, 2014.

FREIRE, C. S. *et al.* Physical Properties of Commercial Particle-boards Made of Sugarcane Bagasse and Wood. **Floresta e Ambiente**, v. 18, p.178-185, 2011.

GONÇALVES, D. S. *et al.* Utilização de resíduos sólidos na fabricação de chapas de partículas. **Engevista**, v. 15, n. 2, p.148-158, 2013.

GONZÁLEZ-GARCIA, S. *et al.* Environmental assessment of Green hardboard production coupled with a laccase activated system. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.445-453, 2011.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeira de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, 2000.

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, 2006.

ISAIA, G. C. (ed). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**, 2 ed., São Paulo, IBRACON, 2v, 2010.

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

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323-328, 2005a.

IWAKIRI, S. *et al.* Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia forestalis**, n. 68, p.39-43, 2005b.

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**, [s.l.], v. 42, n. 1, p.59-64, 2012.

KEHL. **Indústria e Comércio**. Textos técnicos sobre poliuretanas. São Carlos – SP, 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.

KUSUMAH, S. S. *et al.* Utilization of sweet sorghum bagasse and citric acid for manufacturing of particleboard II: influences of pressing temperature and time on particleboard properties. **Journal of Wood Science**. v.63, p.161-172, 2017.

LARA PALMA, H. A. L.; BALLARIN, A. W. Propriedades de contração na madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, n.64, p.13-22, 2003.

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

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

MARTON, A. **Produção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial**.2014. 69 f. Teses (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Ilha Solteira, 2014.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. New York: V. Nostrand Reinhold, 453p, 1992.

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

MELO, R. R. *et al.* Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados madeira-bambu. **Ciência Rural**, v. 45, n. 1, p.35-42, 2015.

MENDES, R. F. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos na China utilizando bagaço de cana**. In: XI EBRAMEM: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Londrina, Brasil 1, pp. 45–47, 2008.

MENDES, R. F. *et al.* Particleboards produced with sugar cane bagasse and Eucalyptus Wood. **Scientia Forestalis**. v. 38, p.285-295, 2010.

MENDES, R. F. *et al.* Determination of the Elastic Modulus of Particleboard by Stress Wave Timer. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p.117-122, 2012.

MORENO, D. D. P.; SARON, C. Low-density polyethylene waste/recycled wood composites. **Composite Structures**, p.1152-1157, 2017.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard: materials**. London: Southem University Press, v.1, 244p, 1974.

NEGRÃO, W. H. **Aproveitamento de madeiras tropicais para produção e aviação de painéis aglomerados com mistura de partículas e resinas alternativas**. 2013. 47 f. Dissertações (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Ilha Solteira, 2013.

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

PAES, J. B. *et al.* Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, v.21, n.3, p.551-558, 2011.

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

PEDROSA, A. L.; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. Produção de Vigas Estruturais em Perfil “I” com Painéis de Madeira Reconstituída de *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Revista Floresta**, v. 35, n. 3, p.443-449, 2005.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de construção**. 12 ed. São Paulo: Globo, 1998.

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

POLETO, S. F. S. *et al.* **Produção de painéis de partículas homogêneas (PPH) utilizando resíduos de espécies de reflorestamento**. LAMEM 2013, Ed. EESC/USP-São Carlos/SP, p. 8-6, 2013.

POBLETE, H. W. **Tableros de partículas**. Valdivia: El Kultrín, 2001. 177 p.

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) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Unesp, Ilha Solteira, 2016.

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**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.194-200, 2010.

SANTOS, R. C. *et al.* Chapas de partículas aglomeradas produzidas a partir de resíduos gerados após a extração do óleo da madeira de candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Scientia Florestalis**, v.37, p.437-446, 2009.

SARTORI, D. L. *et al.* Paineis em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. **Revista Floresta e Ambiente**, v.19, p.171-178, 2012.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **Fatos e números do Brasil Florestal**. Brasília, DF, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. O papel das florestas plantadas para atendimento das demandas futuras da sociedade. In. CONGRESSO FLORESTAL MUNDIAL – FAO, 13., 2009, Buenos Aires. **Anais...** [S. l.: s. n.], 2009.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2012.

SILVA, G. C. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com adesivos à base de lignossulfato e ureia-formaldeído**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas – UFRRJ, Rio de Janeiro, 2015.

SILVA, S. A. M.; LAHR, F. A. R. **Painéis de partículas produzidas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade**. Livro: Reciclagem de resíduos para a construção civil. Editora da Universidade FUMEC - FEA. P. Capítulo 14, p. 343 - 365. Belo Horizonte - MG, 2007.

SILVA, S. A. M. *et al.* **Avaliação da densidade aparente de chapas de madeira aglomerada produzidas com partículas de madeira tropical e poliuretano derivado de óleo de mamona**. LAMEM 2013, Ed. EESC/USP-São Carlos/SP, p. 95-114, 2013.

SILVA, M. R. *et al.* Hybrid Sandwich Particleboard Made with Sugarcane, *Pínus taeda* Thermally Treated and Malva Fibre from Amazon. **Materials Research**, v. 21, n. 1, 2017.

SITE MOVETALHE.COM. **Processo de produção do MDP**. 2010. Disponível em: < <http://movetalhe.blogspot.com.br/2010/07/conhecendo-materiais-mdp.html> > Acessado em: 18/09/2017.

SOUZA, A. C. *et al.* Estudo das aplicações do bagaço da cana-de-Açúcar dentro e fora das indústrias sucroalcooleiras. **Revista Brasileira de Energia**, v. 21, n. 30, 2015.

STANGERLIN, D. M. *et al.* Durabilidade natural de painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, v.41, n.8, p.1369-1374, 2011.

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

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**.2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2008.

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

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. **Panorama de mercado: painéis de madeira.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 40, p. 323-384, 2014.

VISNARDI, O. C. *et al.* **Produção e Avaliação Física de Chapas de Partículas de Bambu da Espécie *Dendrocalamus giganteus*.** In. XII Encontro Brasileiro em Madeira e Estrutura de Madeira, Lavras, Minas Gerais. Anais do XII EMBRAMEM, 2010.

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades dos painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, v. 16, n. 1, p. 88-96, 1992.

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

WIDYORINI, R. *et al.* Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal of Wood Science**, v.51, p.648-654, 2005.