

SARAH CAMARGO DE OLIVEIRA

Análise do efeito da emulsão de parafina nas propriedades físicos-
mecânicas de painéis de partículas de madeira

Itapeva – SP
Junho/2016

SARAH CAMARGO DE OLIVEIRA

Análise do efeito da emulsão de parafina nas propriedades físicos-
mecânicas de painéis de partículas de madeira

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cristiane Inácio de Campos

Itapeva – SP
Junho/2016

Oliveira, Sarah Camargo de.
O482a Análise do efeito da emulsão de parafina nas propriedades físico-
mecânicas de painéis de partículas de madeira / Sarah Camargo de
Oliveira. -- Itapeva, SP, 2016
49 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado – Engenharia
Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, 2016

Orientadora: Cristiane Inácio de Campos

Banca examinadora: Glaucia Aparecida Prates, Bruno Santos
Ferreira

Bibliografia

1. Painéis de madeira. 2. Materiais granulados. 3. Propriedades físico-
mecânicas. I. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
Campus Experimental de Itapeva. II. Título.

CDD 674. 836

DEDICO

À Deus, a toda a minha família por todo apoio, incentivo e força para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

“Suba o primeiro degrau com fé

Não é necessário que você veja toda a escada

Apenas dê o primeiro passo.”

(Martin Luther King).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por sempre estar presente em minha vida, me conduzindo e por ter possibilitado estar firme nessa trajetória, alcançando mais uma vitória.

À minha mãe Marili por sempre estar ao meu lado nos momentos mais difíceis me incentivando a não desistir dos meus objetivos.

À minha família por todo apoio, carinho e compreensão que foram de suma importância para continuar a minha caminhada.

À instituição UNESP pela oportunidade da graduação com estrutura de ensino de qualidade.

À minha professora orientadora Profa. Dra. Cristiane Inácio de Campos e meu co-orientador MSc. Bruno Santos Ferreira por sempre estarem dispostos a ajudar, pela paciência, orientações e correções.

A todos os professores do curso que contribuíram em minha vida acadêmica, proporcionando conhecimento no processo de formação profissional.

Aos amigos que convivi nesse espaço de tempo seja nos estudos, nos momentos de alegrias ou preocupações que se tornaram parte de minha vida.

A todos os funcionários, direção e administração da UNESP-Câmpus Itapeva, ao técnico Brito pelo acompanhamento e ajuda para realização dos testes realizados em laboratório.

Agradeço a todos que de algum modo seja direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação. Meu muito Obrigado!!!

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o efeito de duas emulsões de parafina nas propriedades físico-mecânicas de painéis particulados. Os painéis foram produzidos com partículas de resíduos de *Eucalyptus sp* com quatro granulometrias diferentes e compostos em três camadas. Os ensaios foram realizados de acordo com a Norma Brasileira ABNT NBR 14810/2013. As propriedades físicas avaliadas foram absorção de água e inchamento em espessura; as propriedades mecânicas avaliadas foram à adesão interna, flexão estática, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE). O teste estatístico utilizado foi o teste t-student com o nível de significância de 5%. Os resultados obtidos nos testes físicos e mecânicos analisados estatisticamente, comparados aos valores normativos e das literaturas encontradas, demonstraram que não houve diferença entre o desempenho das parafinas, demonstrando que ambas as emulsões são adequadas na produção de painéis particulados.

Palavras-chave: propriedades físicas, granulometria, flexão estática, módulo de ruptura, propriedades mecânicas.

ABSTRACT

This work evaluated the effect of two paraffin emulsions on the physico-mechanical properties of particleboards. The panels were made of particles of *Eucalyptus* sp waste with four different particle size and composed of three layers. The tests were performed according to the Brazilian Standard NBR 14810/2013. The physical properties evaluated were water absorption and thickness swelling; the mechanical properties evaluated were internal bonding, static bending, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE). The statistical analysis used was the t-student test with a significance level of 5%. The results obtained in the physical and mechanical tests, compared to normative values and literature, showed no difference between the performance of paraffin emulsions, showing that both emulsions are suitable for the particleboards production.

Keywords: physical properties, particle size, static bending, modulus of rupture, mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo produtivo de painéis particulados.....	13
Figura 2 - Picador laboratorial para processamento primário e moinho tipo willey para processamento secundário.....	17
Figura 3 - Agitador de peneiras e peneiras acopladas com 4 granulometria diferentes para a classificação das partículas.....	18
Figura 4 – Mistura do adesivo, parafina, catalisador e água.....	19
Figura 5 – Mistura manual de adesivo às partículas.....	19
Figura 6 – Mistura do adesivo às partículas utilizando o Misturador Orbital.....	19
Figura7–Partículas sendo distribuídas e compactadas até a formação do colchão.....	20
Figura 8 – Retirada da caixa modeladora, painel sendo colocado entre placas metálicas e levado à prensa.....	21
Figura 9 - Ensaio de Flexão Estática em painel particulado de madeira.....	27
Figura 10 - Valores da literatura referentes ao MOE.....	28
Figura 11 - Valores da literatura referentes ao MOR.....	30
Figura 12 - Resultados da literatura referentes ao MOE.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Dimensionamento, quantidade e resultados da realização dos ensaios de caracterização	22
Tabela 2 – Tabela 2: Valores médios e desvios padrões para o inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão e valores normativos.....	25
Tabela 3 – Valores médios e desvios padrões dos resultados para Módulo de Elasticidade e valores normativos.....	28
Tabela 4 – Valores médios e desvios padrões dos resultados para Módulo de Ruptura e valores normativos.....	29
Tabela 5 – Resultados médios e desvios padrões para adesão interna e valores normativos.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS

NBR	Norma Brasileira
FF	Finish Foil
BP	Baixa Pressão
AP	Alta Pressão
MDP	Medium Density Particleboard
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
REMADE	Revista da Madeira
OSB	Oriented Strand Board
MDF	Medium Density Fiberboard
HDF	High Density Fiberboard
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MOR	Módulo de ruptura
MOE	Módulo de elasticidade
UF	Ureia-Formaldeído
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LISTA DE SÍMBOLOS

P1	Carga no limite proporcional lida no indicador de cargas
D	Distância entre os apoios do aparelho
D	Deflexão
B	Largura do corpo de prova
E	Espessura média tomada em três pontos do corpo de prova
TP	Resistência à tração perpendicular
P	Carga na ruptura
S	Área da superfície do corpo de prova
I	Inchamento em espessura do corpo de prova
E1	Espessura do corpo de prova após o período de imersão
E0	Espessura do corpo de prova antes da imersão
A	Absorção de água
M1	Massa do corpo de prova após imersão
M0	Massa do corpo de prova antes da imersão
D	Densidade do corpo de prova
M	Massa do corpo de prova
V	Volume do corpo de prova
L	Largura do corpo de prova
C	Comprimento do corpo de prova
E	Espessura do corpo de prova
U	Umidade residual do corpo de prova
UM	Massa úmida do corpo de prova
MS	Massa seca do corpo de prova

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVO	03
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
3.1. Classificação dos Painéis	05
3.1.1 Painéis De Partículas-MDP (<i>Medium Density Particleboard</i>).....	06
3.1.2 Matérias-primas para a produção de MDP.....	06
3.1.2.1 Madeira.....	06
3.1.2.2 Resíduos	07
3.1.2.3. Adesivos.....	07
3.1.2.4. Outros Aditivos.....	09
3.2. DESEMPENHO DO PAINEL DE PARTÍCULA COM CONTATO COM A ÁGUA	10
3.3. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS	11
3.3.1. Espécie.....	11
3.3.2. Densidade.....	11
3.3.3. Teor de extrativos e teor de umidade.....	11
3.3.4. pH.....	12
3.4. PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS PARTICULADOS	13
3.4.1. Geração de Partículas.....	13
3.4.2. Secagem das Partículas e Classificação.....	14
3.4.3. Aplicação do Adesivo e formação do colchão.....	14
3.4.4. Pré-Prensagem e Prensagem do Painel.....	15

3.4.5. Acabamento	15
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1. Materiais.....	16
4.2 METODOLOGIA	16
4.2.1 Preparação das Partículas.....	16
4.2.2. Produção dos Painéis.....	18
4.2.3. Caracterização dos Painéis	21
4.2.3.1. Flexão Estática.....	22
4.2.3.2. Adesão Interna - Tração Perpendicular.....	23
4.2.3.3. Inchamento e absorção de água	24
4.3. ANÁLISE ESTÁTICA DE RESULTADOS.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5.1. Inchamento e Absorção	25
5.2 Teste de flexão estática	27
5.3 Adesão Interna	30
6.CONCLUSÃO.....	32
7.REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

O Brasil tornou-se um país com um grande potencial no setor madeireiro, devido à diversidade e quantidade de florestas naturais tropicais e também extensas áreas de reflorestamento, permitindo assim um crescente surgimento de indústrias madeireiras. O mercado mundial tende a investir em espécies de crescimento rápido, e isso se deve às pressões econômicas por resultados mais imediatos. A principal fonte de matéria-prima para a fabricação de painéis aglomerados no Brasil vem em grande parte de florestas de reflorestamento.

As empresas visando uma melhor concorrência no mercado madeireiro vêm incentivando pesquisas, para obter um produto final de baixo custo, sem prejuízo da qualidade, em conjunto com a preservação do meio ambiente e questões ambientais, como a gestão adequada dos resíduos como o seu reuso.

O aproveitamento de resíduos é visto como alternativa benéfica para o meio ambiente, diminuindo a utilização de recursos naturais e contribuindo para a redução de poluentes em sua destinação final. As sobras geradas em grandes quantidades pela indústria madeireira são os resíduos mais utilizados. Em determinadas regiões possuem grandes ofertas de matéria-prima, portanto, ocorre excesso na geração de sobras. Entretanto paralelo a isso a fabricação de painéis particulados de madeira surgiu como possibilidade de agregar de valor ao que é desperdiçado.

A indústria madeireira para manter-se competitiva no mercado vem se aperfeiçoando na automação do processo com investimentos em novos equipamentos, desenvolvimento de novas tecnologias e produtos, redução de perdas e aproveitamento maior de matéria-prima.

Os painéis de madeira reconstituída surgiram como uma nova alternativa para o consumo de madeira no Brasil. Dentre eles destaca-se o MDP (*Medium Density Particleboard* que é um painel composto por partículas de diferentes tamanhos). Esses painéis obtiveram grande crescimento em consumo a partir de 1990 diminuindo a utilização da madeira nativa, com menores custos de produção sem perder as qualidades. Tornaram-se também opções decorativas através do revestimento superficial, com várias tonalidades e acabamentos realizados com FF (Finish Foil), BP (Baixa Pressão) ou AP (Alta Pressão).

Destaca-se que na composição de todos os painéis à base de madeira o uso de agente hidrorrepelente é de fundamental importância para melhorar o desempenho dos painéis em contato com água.

Com base no exposto anteriormente que se definiu a proposta do presente trabalho que foi avaliar o desempenho de aditivos hidrofóbicos aos painéis visando melhores propriedades físicas e mecânicas.

2 OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de dois diferentes tipos de parafinas nas propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos a partir de resíduos de madeira de *Eucalyptus* sp.

Os objetivos específicos do estudo foram:

- Produzir painéis MDP com duas variações de emulsão de parafina;
- Caracterizar os painéis a partir da norma brasileira NBR 14.810:2013;
- Comparar com especificações normativas e estudos encontrados na literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entende-se genericamente por produtos florestais, os segmentos de madeira em tora, madeira serrada, painéis de madeira, pasta de madeira e papel. A partir desses insumos são formadas as várias cadeias produtivas, em destaque setores da construção civil e moveleira, produtos de madeira serrada e os painéis de madeira (REMADE, 2006).

Os painéis de madeira podem ser definidos como estruturas fabricadas com lâminas, partículas, fibras ou outros estágios de fragmentação da madeira, unidas através da ação de pressão e temperatura, usando resinas específicas para cada painel (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Os painéis de madeira reconstituída têm se destacado nas últimas décadas, substituindo a utilização da madeira sólida e, isso se deve a necessidade de otimização do uso da madeira por suas características (IWAKIRI, 2005). Além disso, devido à escassez e o encarecimento da madeira maciça, o aparecimento dos painéis teve como objetivo suprir essa demanda (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

O destaque dos painéis no setor madeireiro e na economia brasileira deve-se à diversidade e vasto território plantado com florestas de crescimento rápido e redução de perdas, com uso mais racional da matéria-prima (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

O crescente destaque do segmento de painéis também se deve a instalação de novas unidades produtoras, novas tecnologias aplicadas e a modernização do parque industrial. Este segmento tem grande importância na economia brasileira, na geração de empregos e como nos setores moveleiros e construção civil (GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

3.1 Classificação dos painéis

A classificação dos painéis de madeira pode ser dividida em: compostos laminados, compostos particulados e compostos de fibras. Os grupos serão apresentados a seguir de acordo com Iwakiri (2005) e Lima (2014).

- Painéis compostos Laminados:

Esses painéis foram produzidos no país desde os anos de 1940, também conhecidos como madeira processada mecanicamente. As camadas são formadas por lâminas ou sarrafos de madeira maciça, usados nos segmentos da construção civil e móveis. A matéria-prima é obtida pelo manejo de florestas nativas e plantações florestais. Neste grupo podem ser destacadas as chapas de madeira compensada, o painel sarrafeado, o compensado sarrafeado.

- Compostos particulados:

Por serem fabricados com base na consolidação de partículas de materiais lignocelulósicos, por intermédio de resinas, começaram a ser largamente produzidos e utilizados por volta da década de 1990. A matéria-prima utilizada no Brasil é madeira de plantações florestais (eucalipto e pinus). Pode-se destacar neste grupo: *Medium Density Particleboard* (MDP) e *Oriented Strand Board* (OSB).

- Compostos de Fibras:

São painéis fabricados com fibras de madeira, destinados às fábricas de móveis e indústrias de embalagens e em componentes de unidades habitacionais. A fabricação é realizada pelo desfibramento de toras finas de madeira, não ocorrendo à remoção da lignina, reagrupando e prensando as fibras. As chapas de fibras podem ser classificadas por chapa de baixa, média e alta densidade. Neste grupo destacam-se: MDF (*Medium Density Fiberboard*), HDF (*High Density Fiberboard*), chapa dura e chapa isolante.

Do ponto de vista econômico, as perspectivas no setor de painéis de madeira para os segmentos de MDP e MDF apresentam sinais positivos, pois a oferta direcionada ao mercado interno vem aumentando.

3.1.1 Painéis De Partículas - MDP (Medium Density Particleboard)

Mattos, Gonçalves e Chagas (2008) definem o aglomerado como um painel fabricado por partículas de madeira consolidadas por resina, com a ação de calor e pressão. Para Biazus, Hora e Leite (2010) o aglomerado é o painel mais consumido mundialmente, com uso principal na fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes e, em menor escala, na construção civil.

Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 14810-2:2006, o MDP é um produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas termofixas, sob a ação de pressão e calor.

São empregados vários tipos de matéria-prima como: resíduos industriais de madeira, resíduos da exploração florestal, madeiras de qualidade inferior, provenientes de florestas plantadas e reciclagem sem serventia, já no Brasil a madeira de florestas plantadas mais utilizadas são de eucalipto e pinus.

3.1.2 Matérias-primas para a produção de MDP

No Brasil a matéria-prima utilizada na fabricação de painéis de partículas de madeira constitui-se de espécies como *Eucalyptus sp* e *Pinus sp*, adesivo termofixo e aditivos químicos como parafina e catalisador, sendo a função destes dois últimos aumentar a resistência à umidade e acelerar a cura do adesivo, respectivamente.

3.1.2.1 Madeira

Destaque na fabricação de painéis, a espécie de *Eucalyptus* engloba aproximadamente 720 espécies, sua origem é australiana. Madeira com pouco brilho, macia moderadamente dura ao corte, sua anatomia homogênea (Oliveira, 2007). Na produção de painéis particulados de madeira indica-se o uso de

Eucalyptus grandis e *Eucalyptus saligna*. Outra espécie também muito utilizada para a produção de painéis é o *Pinus* que reúne mais de 100 espécies. Tem origem de regiões árticas e sub-árticas da Europa, Ásia, América do Norte e América Central. As características sensoriais possuem cerne e alburno distingue-se pela cor: branco-amarelado, brilho moderado, densidade baixa (Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989). Na produção de painéis particulados de madeira indica-se o uso de *Pinus taeda* e *Pinus elliotti*.

3.1.2.2 Resíduos

Os painéis particulados de madeira podem utilizar matéria-prima vinda de material florestal de desbaste e poda, resíduos industriais (costaneiras, sobras de destopo, miolos de toras laminadas), resíduos industriais considerados finos (pó-de-serra, cavacos e maravalha) madeira residuais da indústria de móveis e carpintaria (MALONEY, 1993).

O uso de resíduos na produção de painéis provenientes da exploração florestal e do processamento industrial resulta em maior valor agregado, diminuição dos depósitos de resíduos, implantação de novas empresas visando novas receitas e geração de emprego (LATORRACA e IWAKIRI, 2000).

A utilização de resíduos gerados através do beneficiamento da madeira agrega valor podendo ser utilizado na produção de painéis de madeira aglomerada, além de suprir a demanda das indústrias, reduzindo os custos de produção, e assim com maiores condições de competitividade no mercado econômico (MENDES, 2012).

3.1.2.3. Adesivos

A definição obtida pela norma técnica brasileira da ABNT NBR 14810-1:2006 adesivo ou resina como “ substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em uma chapa de madeira aglomerada, podendo este ser orgânico ou inorgânico”.

A quantidade de adesivo é umas das variáveis mais importantes do processo. Portanto, essa etapa do processo deve ser otimizada, considerada como matéria-prima de maior custo na produção de painéis. Os adesivos mais utilizados

na fabricação de painéis são os sintéticos. São subdivididos em termoplásticos e termo-endurecedores. Para Iwakiri (2005) os adesivos termo-endurecedores são adesivos com propriedade imunizante ao ataque de microrganismos e cura irreversível e adesivo termoplásticos são caracterizados por serem amolecidos com calor e endurecidos com resfriamento é empregado. O principal adesivo termoplástico empregado para a colagem de madeira é o PVA.

Existem diversos fatores que influenciam o processo de colagem, podendo-se destacar como variáveis fundamentais:

- A proporção de adesivo aplicado com relação a espécie, espessura e área superficial;
- As variáveis do ciclo de prensagem, relacionados a temperatura, pressão e o tempo de prensagem;

O adesivo a ser aplicado deve ser adequado às condições ambientais do local onde o produto será utilizado, sejam eles para uso interno, intermediário e externo. Os principais adesivos utilizados pela indústria na produção de painéis são: ureia-formaldeído, melamina-formaldeído e fenol-formaldeído, com respectivos usos mencionados anteriormente.

Segundo Iwakiri (2005) os principais tipos de adesivos e suas principais características:

- Ureia-Formaldeído (UF): classificado como adesivo de baixo custo, pode ser facilmente manuseado, cura rápida, incolor, não ocasionando tingimento superficial do painel. Adesivo mais utilizado em painéis a serem utilizados em áreas internas. Em solução aquosa usado com conteúdo de sólidos entre 60 e 70%. Também utilizado na forma de pó, apresentando pH entre 7,4 a 7,8, viscosidade de 400 a 1000 cp.
- Fenol-Formaldeído: seu uso é com menor frequência, pois são mais utilizados na produção de compensado, painéis de lascas orientadas (OSB – Oriented Strand Board) e “waferboard”, esses necessitam de alta resistência. De uso externo, pois tem alta resistência a umidade, sua coloração é marrom avermelhada, teor de sólidos entre 48 e 51 %,pH de 11

a 13, viscosidade de 300 e 600 cp e temperatura de cura na faixa de 130° a 150° C.

- Melamina-formaldeído: Pode ser usado em mistura com ureia-formaldeído como fortificante nas porcentagens entre 10 a 40 %. De coloração branco leitoso, indicado para painéis para maior resistência a água, pH em torno de 9 e temperatura de cura entre 65 a 130° C.

3.1.2.4. Outros Aditivos

Misturados aos adesivos os aditivos químicos tem a função de melhorar as propriedades dos painéis. Iwakiri (2005) e Lara Palma (2009) destacam:

- Emulsão de parafina – sua função principal é a diminuição na absorção de água e a estabilidade dimensional dos painéis, a proporção utilizada é de 1% baseado no peso do sólido resinoso.
- Retardantes de fogo – são destacados o fosfato de amônia, ácido bórico, sulfato de amônia e bromato de amônia. Estes compostos químicos são adicionados às chapas durante o processo de produção ou na impregnação nos painéis pós-prensagem.
- Produtos preservantes contra fungos e insetos – composto químico à base de piretróide hexaclorociclohexano.

3.2. DESEMPENHO DO PAINEL DE PARTÍCULA COM CONTATO COM A ÁGUA

A avaliação do potencial de acabamento e colagem de painéis particulados é feita através da avaliação da permeabilidade. A permeabilidade é a propriedade que indica o potencial que um corpo sólido tem de se deixar penetrar por um produto. Essa determinação pode prever o comportamento e mobilidade de adesivos e produtos para o acabamento desses painéis (JUNIOR et al., 2013).

Outro fator que a permeabilidade influencia é a sorção e a dessorção de água desses produtos, pois a propriedade causa alterações de umidade em materiais à base de matérias primas lignocelulósicas, o que pode afetar nos painéis em suas propriedades físicas e mecânicas (JUNIOR et al., 2013).

Os painéis de partículas convencionais possuem limitação no que se refere a altos teores de umidade absorvida. Isso ocorre porque a madeira e seus produtos possuem os grupos hidroxílicos (OH-) livres, especialmente na região amorfa da celulose e hemiceluloses. A madeira reduzida a partículas a área superficial se torna maior. Assim gera um maior contato entre a área e a água, gerando aos painéis alto teor de absorção de água e inchamento de espessura (JUNIOR et al., 2013).

A parafina é um dos parâmetros mais importantes no processo de fabricação de painéis particulados, pois sua finalidade é aumentar a estabilidade dimensional e reduzir a higroscopicidade. Este efeito ocorre pelo fato da parafina ser um alcano, apolar, tem como principal característica a hidrofobia, ou seja, não apresenta afinidade com a água. Essa substância impermeabiliza as partículas formando uma película de proteção. Com isso obtém-se a melhoria dos painéis em suas propriedades físicas, referindo-se à água líquida, não sendo constatado para o vapor d'água (IWAKIRI, 2005).

Na avaliação de dez tipos e três níveis de parafina na produção de painéis OSB (*Oriented Strand Board*), concluiu-se que a inserção da parafina, obteve melhora na estabilidade dimensional dos mesmos. Porém a elevação nos níveis de parafina acarretava a redução na propriedade de tração perpendicular dos painéis (WINISTORFER, 1992).

Segundo Cloutier (1998), a proporção máxima de parafina empregada nas indústrias de painéis é aproximadamente de 1,5%. Pois acima disso não seria eficiente na redução de absorção de água e inchamento de espessura.

3.3. FATORES QUE AFETAM AS PROPRIEDADES DOS PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Os principais fatores que afetam as propriedades dos painéis de partículas são em relação à matéria-prima e o processo de produção, no qual podem ser citados a densidade de madeira e do próprio painel, acidez, teor de extrativos, teor de umidade e a geometria das partículas.

3.3.1. Espécie

As principais espécies utilizadas na produção de painéis aglomerados no Brasil são constituídas de pinus e eucalipto, como mencionado anteriormente no 3.1.2.1.

3.3.2. Densidade

A variável densidade é vista como fator importante na produção de painéis aglomerados, influenciando as propriedades físicas e mecânicas (IWAKIRI, 2009). Segundo Mendes (2001), estudos indicaram que a densidade atua nas propriedades mecânicas, ou seja, quanto maior for a densidade do painel maior será a resistência mecânica, no entanto, sua estabilidade dimensional poderá ser prejudicada. Isso se deve a uma grande quantidade de partículas de madeira, causando maior densificação do material na prensagem.

3.3.3. Teor de extrativos e teor de umidade

De acordo com Belini (2012), o teor de umidade pode influenciar na espessura dos painéis, nos valores das propriedades, comportamento dimensional e nas características de acabamento superficial. No caso de baixa umidade, a quantidade de água não é suficiente para a condução de calor nas regiões internas do painel. Essa ação interfere na cura do adesivo causando deformidades no centro do perfil da densidade e baixa densificação, sem a liberação de vapor. Com

umidade elevada ocorre a formação de bolhas com maior liberação de vapor e até rompimento da superfície do painel.

Outra variável que possui grande influência nas propriedades dos painéis é o teor de extrativos da madeira. Este influencia no consumo de resina e aumento no tempo de cura, diminui a resistência à umidade do produto final além de formação de bolhas no processo de prensagem, além de influenciar nas propriedades mecânicas (IWAKIRI, 2005).

De acordo com algumas literaturas, a fabricação das chapas as partículas deverão ter por volta de 3% a 6% de umidade (MALONEY, 1993).

Para a produção do painel um baixo teor de umidade é considerado ideal, pois a etapa da prensagem é quente e a umidade em excesso converte-se em vapor, ao abrir a prensa o vapor liberado repentinamente, pode causar delaminação e conseqüentemente formação de bolhas (IRLE, 2012).

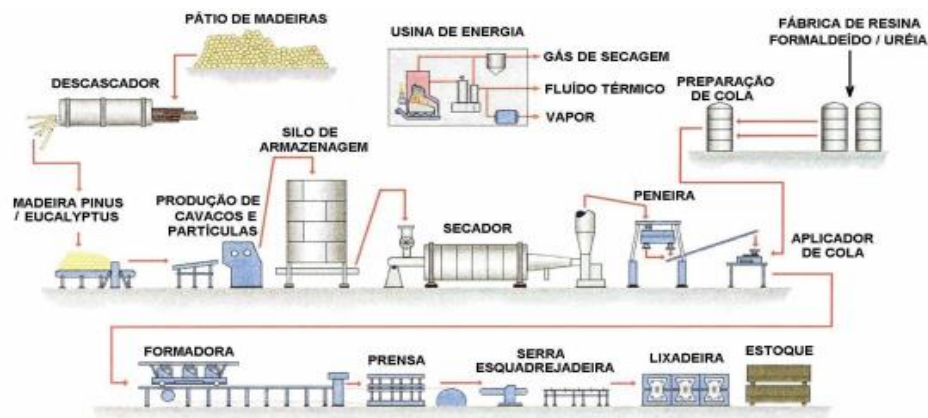
3.3.4. pH

O pH tem a influência na colagem das partículas de madeira e na resina. Seus limites na resina não podem ultrapassar de 1,5 a 11, pois um índice maior pode degradar as fibras prejudicando a colagem do produto. Um baixo índice de pH causa a formação de espuma na mistura prejudicando a sua aplicação (DIAS, 2005).

3.4. PROCESSO PRODUTIVO DE PAINÉIS PARTICULADOS

A Figura 1 ilustra o processo industrial de produção do painel MDP indicando as etapas descritas:

Figura 1- Processo produtivo de painéis particulados



Fonte: Eucatex (2006)

As etapas do processo dos painéis de partículas serão apresentadas a seguir com o detalhamento e especificações de cada uma.

3.4.1. Geração de Partículas

A qualidade dos painéis de partículas depende das seguintes variáveis como a espécie de madeira, granulometria de partículas, umidade entre outros (MENDES, 2001).

Na geração das partículas podem ser aproveitadas toras inteiras, resíduos madeireiros como maravalhas, costaneiras, aparas, pontas, rolo resto. Fatores importantes também são verificados como a presença ou não de casca.

A umidade também influencia na geração das partículas. Se for muito baixa pode comprometer a geometria das partículas, gerando finos, maior consumo de energia, desgaste de ferramentas. Se for muito alta a umidade pode causar esmagamento da madeira. A umidade adequada deve estar entre 35% a 50% (IWAKIRI, 2005).

3.4.2. Secagem das Partículas e Classificação

A Secagem das partículas é uma etapa de suma importância, pois o aumento na exigência na qualidade dos painéis particulados é um dos principais fatores para manter o controle da umidade final das partículas (OLMOS, 1992). Resíduos podem ser constituídos por pedaços de cavacos, palitos, serragem e pó.

Após a secagem das partículas o resíduo é peneirado para separação e classificação dimensional. Para remover os finos, as partículas são classificadas através de peneiras, principalmente para a remoção de finos, onde as partículas maiores são utilizadas na camada interna e as partículas menores para as camadas externas (IWAKIRI, 2005).

3.4.3. Aplicação do Adesivo e formação do colchão

Aplicação de adesivo deve ser homogênea em sua distribuição nas partículas para que sejam uniformes suas propriedades ao longo de todo painel (MALONEY, 1993). A quantidade de adesivo pode ser determinada com base no peso seco das partículas, variando de 5 a 10 %. A otimização das propriedades físico-mecânicas é obtida pelo aumento na quantidade de adesivo. Acondiciona-se a otimização da relação custo benefício de acordo com o uso e resistência desejável.

É de extrema importância a formação do colchão. A má formação do colchão acarretará heterogeneidade como a diferença de densidade por toda sua extensão. As partículas são transportadas por meio de rolos, esteiras e ar, depositadas elas em uma placa metálica, lâminas plásticas ou correia de tecido. A densidade da chapa depende da quantidade de material utilizado e altura do colchão, densidade da madeira e a espessura final requerida da chapa (DIAS, 2005).

As partículas já impregnadas com a resina são levadas por correias até as estações formadoras que são destinadas para a camada interna (partículas maiores), para a camada externa (partículas menores), que serão depositadas em uma esteira com movimento contínuo conduzidas até a consolidação (DURATEX, 2009).

3.4.4. Pré-Prensagem e Prensagem do Painel

A pré-prensagem é realizada após a formação do colchão, essa etapa tem a função de diminuir a altura, melhorar a consistência e facilitar o processo de carregamento da prensa a quente, obtém densidade especificada e a consolidação do colchão para sua espessura final (BARROS FILHOS, 2009).

Nos estudos realizados por Dias (2005), a prensagem é determinada por um conjunto de variáveis onde as partículas são prensadas, juntamente com os fatores de pressão, temperatura e tempo de prensagem, que tem variação de 4 a 8 segundos dependendo da espessura da chapa, da umidade do colchão e da temperatura de prensagem. Após a pré-prensagem que tem por objetivo a redução na altura, melhor manipulação, a prensagem a quente é a etapa de cura do adesivo, densificação e consolidação do painel até alcançar a espessura final. A temperatura usual em média é de 180° C para ureia-formaldeído, a pressão nos pratos para obtenção de painéis de densidade na faixa de 1,2 a 4,0 MPa (IWAKIRI, 2005).

3.4.5. Acabamento

Quando aberta a prensa haverá o resfriamento, acondicionamento e empilhamento ainda quentes continuando o processo da cura do adesivo iniciado quando estava em prensa quente. O último passo é o esquadrejamento dos painéis, passando pelo lixamento com a finalidade de remoção de qualquer material solto da superfície eliminando as irregularidades causadas à superfície pelos pratos da prensa. Após a etapa do lixamento, os painéis são classificados, pré-cortados convencionalmente e em seguida armazenados (DIAS, 2005).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Logo abaixo serão descritas as etapas do processo de fabricação dos painéis particulados, assim como os materiais utilizados, metodologia adequada para a produção, seguidos da caracterização físico-mecânica.

4.1. Materiais

As matérias-primas utilizadas para os procedimentos neste trabalho foram:

- Peças residuais do processamento de *Eucalyptus sp*;
- Adesivo ureia-formaldeído – Colamite, Fabricante Euroamerican;
- Catalisador Sulfato de amônia – Fabricante Euroamerican;
 - Emulsão de parafina – Fabricante Solven Solventes e Químicos;
 - Para o procedimento de processamento das matérias-primas e fabricação dos painéis foi utilizado os seguintes equipamentos. Equipamentos estes localizados no Laboratório de Produção de Painéis, da UNESP-Campus de Itapeva.

- Picador Laboratorial (MARCONI-MA 683/3);
- Moinho tipo Willey (MARCONI-MA 680/5);
- Agitador de peneiras para análises granulométricas eletromagnéticas (BERTEL 5 “);
- Agitador de peneiras elétrico (BERTEL 50 x 50 cm);
- Batedeira de cola (BRAESI-BP 12);
- Prensa hidráulica termo-aquecida (Hidral-Mac PHH 80 T);
- Máquina universal de ensaios (EMIC DL30000N);

4.2 METODOLOGIA

A seguir serão descritas as etapas do processo de fabricação dos painéis em laboratório e o processo de caracterização baseada na Norma 14.810/2006.

4.2.1 Preparação das Partículas

O primeiro passo a matéria-prima madeira foi processada em um picador laboratorial. Este equipamento fragmenta a madeira produzindo cavacos de

dimensões variáveis. O segundo passo é o processamento no moinho. O moinho utilizado é do tipo *Willey*. Ao passarem por este equipamento os cavacos são transformados em material particulado. Ambos os equipamentos demonstrados na Figura 2 são da marca MARCONI:

Figura 2- Picador laboratorial para processamento primário e moinho tipo willey para processamento secundário



Após as partículas serem processadas pelo moinho, passaram pela etapa de classificação para serem separadas para a formação de cada camada, pois cada painel foi composto por três camadas. Para evitar que na formação do colchão possa ter um elevado consumo de adesivo, as partículas finas vistas como indesejáveis são retiradas através do processo de peneiramento. O peneiramento foi realizado com a classificação de peneiras acopladas a um agitador de peneiras com escala laboratorial, esse agitador possui escala de (50x50 cm), demonstrados na Figura 3.

Figura 3- Agitador de peneiras e peneiras acopladas com 4 granulometria diferentes para a classificação das partículas



Depois das partículas serem classificadas, adicionou-se adesivo às partículas, realizando-se assim a formação do colchão, etapa detalhada a seguir.

4.2.2. Produção dos Painéis

Para a produção dos painéis utilizou-se 2200g de partículas, em camadas de proporções de 20, 60, 20, sendo 440 g para cada uma das camadas externas com partículas de granulometria de 35 e 50 *mesh*, para a formação das camadas internas utilizou-se 1320 g de partículas com granulometria de 9 e 16 *mesh*.

Para cada situação (emulsão de dois diferentes tipos de parafina) foram produzidos quatro painéis dando ao total de 24 chapas. Foram adicionadas as camadas 220g de adesivo ureia-formaldeído, 22 g de emulsão de parafina, 13 g de sulfato de amônia como catalisador e 13,2 g de água, com referência nos valores retirados na literatura.

Após todo material ser mensurado, misturou-se ao adesivo ureia-formaldeído, a parafina, o catalisador e a água até a solução ficar homogênea (Figura 4). Esta mistura homogênea foi adicionada as partículas de forma uniforme manualmente (Figura 5), depois com o auxílio de uma bateadeira orbital (Figura 6)

Figura 4- Mistura do adesivo, parafina, catalisador e água.



Figura 5- Mistura manual de adesivo às partículas



Figura 6- Mistura do adesivo às partículas utilizando o Misturador Orbital



A mistura já homogeneizada foi levada para a caixa formadora de dimensões de 450 x 450 mm (Figura 7). Esta etapa é a pré-prensagem, onde o material é distribuído de forma uniforme, e aplicado uma força vertical para acomodação das partículas e compactação, reduzindo os espaços vazios.

Figura 7- Partículas sendo distribuídas e compactadas até a formação do colchão



Ao término da compactação, a caixa modeladora é retirada e o colchão colocado entre as chapas metálicas e levado à prensa á quente (Figura 9). A prensa hidráulica utilizada é da marca Hidral-Mac, modelo PHH 80 toneladas, onde a temperatura 140°C e tempo de prensagem de 10 minutos com pressão aplicada pelo manômetro da prensa de 235 bar, equivalente a 40 kgf/cm²

Figura 8- Retirada da caixa modeladora, painel sendo colocado entre placas metálicas e levado à prensa.



Terminando o processo de produção, os painéis foram acondicionados para o processo de cura da resina por volta de 72 horas e resfriamento, após esse processo passaram pelo esquadrejamento em quadrados medindo 450 mm de lado para a retirada dos corpos de prova.

4.2.3. Caracterização dos painéis

Os ensaios de caracterização físicos e mecânicos realizados foram: absorção de água, teor de umidade, inchamento em espessura, densidade aparente, flexão estática e tração perpendicular.

As especificações para os testes seguiram a norma ABNT NBR 14810/2006. Na tabela 1 a seguir será demonstrado às dimensões e as quantidades de corpos-de-prova retirados de cada painel:

Tabela 1- Dimensionamento, quantidade e resultados da realização dos ensaios de caracterização.

Teste de Caracterização	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Quantidade
Flexão Estática	250	50	12
Colagem Interna	50	50	12
Densidade Aparente	50	50	12
Inchamento	25	25	12
Absorção de Água	25	25	12

4.2.3.1. Flexão Estática

O teste de flexão estática determinou o Módulo de Elasticidade (MOE) e o Módulo de Ruptura (MOR) dos painéis. Para a realização dos ensaios os corpos de prova foram medidos suas dimensões da seção transversal, de acordo com a norma ABNT NBR 14180/2006. Os ensaios foram executados em uma máquina universal de ensaios com controle de velocidade. Foi utilizado uma amostra biapoiada com um vão de vinte vezes a espessura do corpo-de-prova e o valor da velocidade de carregamento para o teste foi de 6 mm/min.

Os resultados dos valores calculados após a realização dos ensaios, foram obtidos através da Equação 1 para valores de MOR e para valores de MOE na Equação 2. Para que os resultados sejam obtidos diretamente, as equações citadas são adicionadas ao software que acompanha a Máquina Universal de Ensaio.

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

Tem-se:

MOR- Módulo de ruptura, em megapascal (MPa);

P-Carga de ruptura lida como indicador de cargas, em newtons (N);

D - Distância entre dois apoios do aparelho, em milímetros (mm);

B-Largura do corpo de prova, em milímetros (mm);

E- espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros (mm);

$$MOE = \frac{P1 * D^3}{4 * d * B * E^3} \quad (2)$$

Tem-se:

MOE – Módulo de elasticidade, em megapascal (MPa);

P1-Carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, em newtons (N);

D- Distância entre os apoios do aparelho, em milímetros (mm);

d – Deflexão, em milímetros (mm), correspondente à carga P1;

B – Largura do corpo de prova, em milímetros (mm);

E – Espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, em milímetros (mm);

4.2.3.2. Adesão Interna - Tração Perpendicular

O teste de adesão interna do painel é realizado através de um ensaio de tração perpendicular. O corpo de prova possui as dimensões com 50 mm x 50 mm de lado, são fixados em bases de madeira para o acoplamento ao encaixe da máquina universal de ensaios contendo controle da velocidade. O valor do cálculo de resistência a tração perpendicular foi obtida com a Equação 3:

$$TP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

Tem-se:

TP – Resistência à tração perpendicular, em megapascals (MPa);

P – Carga na ruptura, em newtons (N);

S – Área da superfície do corpo de prova, milímetros quadrados (mm²);

4.2.3.3. Inchação e absorção de água

Os testes de determinação do inchamento e da absorção de água são feitos através da imersão dos corpos de prova em água e mantendo-os submersos aproximadamente 2h±3 min e 24h±3min. O inchamento é a variação de espessura do painel e a absorção de água, é a variação da massa dos corpos de prova. Os valores para o inchamento e absorção de água, são calculados através das Equações 4 e 5 respectivamente :

$$I = \frac{E1-E0}{E0} * 100 \quad (4)$$

Tem-se:

I – Inchamento em espessura do corpo de prova, em porcentagem (%);

E1 – Espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, em milímetros (mm);

E0 – Espessura do corpo de prova antes da imersão, em milímetros (mm);

$$A = \frac{M1-M0}{M0} * 100 \quad (5)$$

Tem-se:

A – Absorção de água, em porcentagem (%);

M1 – Massa do corpo de prova após imersão, em gramas (g);

M0 – Massa do corpo de prova antes da imersão, em gramas (g);

4.3. Análise estatística dos resultados

A análise estatística utilizada foi o com base no teste t a um nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias dos dois tratamentos. Para a realização da análise estatística foi utilizado o software R versão 3.2.3 de 2015.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados a seguir os resultados obtidos nos ensaios para a caracterização física e mecânica dos painéis de partículas. Estes serão comparado com aos resultados encontrados em literatura e normas vigentes.

5.1. Inchamento e Absorção

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dos testes de inchamento e absorção de água após duas e vinte e quatro horas de imersão.

Tabela 2- Valores médios e desvios padrões para o inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão e valores normativos.

	Tratamento A	Tratamento B	ABNT	EN
Inchamento 2h (%)	26,35 a	24,62 a	8%	12 %
Desvio Padrão	4,15	4,79		
Coefficiente de	6,35	5,14		

Varição (%)				
Absorção	39,10 a	47,60 a	-	-
2 h (%)				
Desvio Padrão	9,83	5,13		
Coefficiente de Varição (%)	3,97	9,27		
Inchamento 24 h (%)	32,48 a	34,04 a	18 %	16 %
Desvio Padrão	6,11	3,12		
Coefficiente de Varição (%)	5,31	10,91		
Absorção	63,02 a	66,43 a	-	-
2 4 h (%)				
Desvio Padrão	3,38	3,77		
Coefficiente de Varição (%)	18,64	17,62		

Os resultados obtidos nos testes de inchamento em espessura para as situações tanto de 2 como de 24 horas, apresentaram-se acima do estabelecido pela norma ABNT NBR 14810 -2/2013 e também para a Norma Européia EN 312/2003.

No caso dos testes de absorção de água após duas e vinte quatro horas, as normas sobre painéis de partículas propõem e descrevem a metodologia, mas não apresentam valores de referência. Comparando com resultados da literatura.

Estudos com painéis feitos com resíduos de eucalipto, as médias gerais para absorção em 2 e 24 horas, respectivamente, foram de 66,65% e 83,77%, segundo Suardi (2014). Ou seja, os valores obtidos por Suardi (2014) foram maiores dos que os obtidos neste trabalho. Para painéis produzidos com madeira de pinus, Lacombe e Chiere (2014), obtiveram valores entre 40,89 % e 52,29%, para

absorção em 2 e 24 horas, ou seja, mais próximos aos resultados do presente estudo.

Para o caso de inchamento Iwakiri *et al.* (2000), estudos com painéis de espécies de eucalipto vindos de resíduos de serrarias, obteve os seguintes valores de inchamento de 12,38% a 30,60%, após 2h e de 23,50% a 38,81 após 24 horas. Os valores encontrados foram bastante próximos aos valores para inchamento em espessura para 2 e 24 horas verificados neste trabalho

Com base nos trabalhos comparados observa-se que este estudo apresenta valores compatíveis encontrados em literatura, e que realmente, os resíduos utilizados na fabricação dos painéis devido à geometria apresentada pelos mesmos limita a obtenção de melhores resultados.

Com base na análise estatística utilizando o teste-t a um nível de significância de 5%, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença significativa (Inchamento 2 horas: $t_{value} = 1.316$, $df = 16.221$, $p-value = 0.2065$ e Inchamento 24 horas: $t_{value} = 0.90688$, $df = 17.842$, $p-value = 0.3766$), (Absorção 2 horas : $t_{value} = -1.5338$, $df = 16.954$, $p-value = 0.1435$ e Absorção 24 horas: $t_{value} = -0.88566$, $df = 17.407$, $p-value = 0.3879$) tanto para inchamento e absorção de água em 2 e 24 horas.

5.2 Teste de flexão estática

O teste de flexão estática para a determinação dos Módulos de Elasticidade e de Ruptura é apresentando na Figura 9. Na figura a amostra esta bi apoiada conforme especifica a norma NBR 14.810-2:2013 para a realização do teste

Figura 9- Ensaio de Flexão Estática em painel particulado de madeira.



A Tabela 3 apresenta os resultados médios de MOE (Módulo de Elasticidade) obtidos nos ensaios de flexão estática e valores normativos.

Tabela 3- Valores médios e desvios padrões dos resultados para Módulo de Elasticidade e valores normativos

	Tratamento A	Tratamento B	ABNT	EN
MOE (MPa)	1583,74 a	1230,34 a	1800	1800
Desvio Padrão	96,83	156,60		
Coefficiente de Variação (%)	16,35	7,85		

Com base na análise estatística utilizando o teste-T a um nível de significância de 5%, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença significativa ($t_{\text{value}} = -0.77892$; $p\text{-value} = 0.4545 < 0,05$).

De acordo com as normas brasileira e europeia o valor mínimo para o MOE deve ser de 1800 MPa para os painéis com espessura entre 6 e 13 mm de uso não estrutural e para uso interno.

Comparando os valores obtidos com as da Figura 10 a madeira de eucalipto, bem como a mistura de espécie, Pedrazzi *et al.* (2006) obteve valores para MOE próximos aos resultados do presente trabalho. Os resultados do presente estudo foram superiores aos obtidos nos estudos realizados por Santos *et al.* (2009), o que novamente comprova as limitações no uso dos resíduos de madeira para gerar partículas para os painéis.

Figura 10- Valores da literatura referentes ao MOE

Fonte	Material / Adições	Módulo de Elasticidade (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000a)	100% <i>Eucalyptus saligna</i>	2038	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus citriodora</i>	2114	
	100% <i>Eucalyptus pilularis</i>	2509	
	Misturas destas espécies	2246	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	1434	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	2177	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	590	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	633	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	616	
Pedrazzi <i>et al.</i> (2006)	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	1037	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	1589	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	996	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	1450	

Fonte: Pierre 2010

A Tabela 3 apresenta os resultados médios de MOR (Módulo de Ruptura) e, respectivos, desvios padrões obtidos nos ensaios de flexão estática e valores normativos.

Tabela 4 -Valores médios e desvios padrões dos resultados para Módulo de Ruptura e valores normativos

	Tratamento A	Tratamento B	ABNT	EM
			14.810	312
MOR (MPa)	10,55 a	8,79 a	11	11,5
Desvio Padrão	0,82	1,18		
Coefficiente de Variação (%)	12,86	7,44		

De acordo com a norma NBR 14.810-2:2013 para painéis com espessura de 6 e 13 mm para o uso não estrutural em ambiente seco o valor mínimo deve ser de 11 MPa e pela norma europeia EM 312:2003 com as mesmas condições o valor de resistência a ruptura de 11,5 MPa, os ensaios realizados apresentaram resultados abaixo das normas.

Com base na análise estatística utilizando o test-t a um nível de significância de 5%, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença de significativa ($t_{\text{value}} = -0.29247$, $df = 9.5438$, $p\text{-value} = 0.7762$).

Os resultados comparados a literatura demonstrados na Figura 11, segundo Pedrazzi *et al.* (2006) são os valores mais próximos aos obtidos no presente trabalho. E, novamente os resultados do presente estudo foram superiores aos obtidos por Santos *et al.* (2009).

Figura 11- Valores da literatura referentes ao MOR

Fonte	Material / Adições	Módulo de Ruptura (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000b)	100% <i>Eucalyptus maculata</i>	12,44	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus grandis</i>	13,16	
	100% <i>Eucalyptus tereticornis</i>	12,83	
	Misturas destas espécies	7,27	
Cabral <i>et al.</i> (2007)	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (maravalha)	15,22	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	16,45	
	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (maravalha)	17,58	
	100% <i>Eucalyptus grandis</i> (flocos)	17,57	
	<i>Eucalyptus urophylla</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	16,83	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	<i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>Pinus</i> (flocos)	19,15	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	10,10	
	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	17,36	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	6,20	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	6,79	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	7,42	
Pedrazzi <i>et al.</i> (2006)	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	8,27	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	Palito <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	9,36	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 650 kg/m ³	6,24	
	Serragem <i>Eucalyptus saligna</i> - densidade painel 750 kg/m ³	9,89	

Fonte: Pierre 2010

5.3 Adesão Interna

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados dos testes de Adesão interna.

Tabela 5- Resultados médios e desvios padrões para adesão interna e valores normativos

	Tratamento A	Tratamento B	ABNT	EM
			14.810	312
Adesão Interna (MPa)	0,67 a	0,53 a	0,4	0,28
Desvio Padrão	0,13	0,15	-	-
Coefficiente de Variação (%)	5,15	3,53		

Com a análise estatística a um nível de significância de 5% pode-se constatar que não houve diferença entre os dois tratamentos para os painéis ($t_{\text{value}} = 1.5535$, $df = 9.5637$, $p\text{-value} = 0.1527$).

Os resultados baseados na análise estatística os painéis apresentaram valores considerados superiores aos valores da norma Europeia 312/2003 indicando que os painéis são apropriados para o uso interno, pois seus resultados foram superiores a 0,28 MPa .Em relação a norma brasileira NBR 14.810/2013 a adesão interna não pode ser inferior a 0,40 MPa ,o que pode ser constatado que os resultados obtidos são superiores aos estimados pela norma.

Como demonstrados na Figura 12 é possível observar que o uso de resíduos diminui o valor da tração perpendicular. De acordo com Santos *et al.* (2009), os valores encontrados em seus estudos foram maiores que 0,20 MPa.

Figura 12- Resultados da literatura referentes à Tração Perpendicular

Fonte	Material / Adições	Tração Perpendicular (MPa)	Observação
Iwakiri <i>et al.</i> (2000a)	100% <i>Eucalyptus saligna</i>	1,00	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% <i>Eucalyptus citriodora</i>	0,81	
	100% <i>Eucalyptus pilularis</i>	0,76	
	Misturas destas espécies	1,13	
Dacosta <i>et al.</i> (2005)	100% Cavaco de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,19 a 0,20	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,16 a 0,20	
	Cavaco e Maravalha de <i>Pinus elliottii</i> Engelm.	0,12 a 0,20	
Iwakiri <i>et al.</i> (2004)	100% madeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 600 kg/m ³	0,71	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	100% maeira de <i>Grevillea robusta</i> - densidade painel 800 kg/m ³	0,32	
Santos <i>et al.</i> (2009)	25% <i>Eucalyptus spp</i> / 75% Madeira Candeia	0,54	Painéis com 8% de resina uréia-formaldeído
	50% <i>Eucalyptus spp</i> / 50% Madeira Candeia	0,61	
	75% <i>Eucalyptus spp</i> / 25% Madeira Candeia	0,56	
	25% <i>Pinus spp</i> / 75% Madeira Candeia	0,63	
	50% <i>Pinus spp</i> / 50% Madeira Candeia	0,50	
	75% <i>Pinus spp</i> / 25% Madeira Candeia	0,64	

Fonte: Pierre 2010

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos tanto nos testes físicos como mecânicos indicaram que não houve diferença quanto ao desempenho das emulsões parafínicas avaliadas. Sendo assim, conclui-se que ambas são adequadas para o uso na produção de painéis MDP. No entanto, os resultados obtidos no presente estudo não mostraram totalmente satisfatórios tendo em vista a limitação no uso de resíduos de madeira para a produção de painéis particulados.

O uso de resíduos de madeira limita a geometria das partículas geradas tanto no processamento primário no picador como no secundário no moinho de facas. Sendo assim, os resultados obtidos neste estudo ficaram um pouco aquém as especificações normativas que indicam as condições de uso dos painéis particulados de madeira, mas, não impendem que algumas aplicações com menores solicitações os painéis estudados neste trabalho possam ser empregados. Nesta ideia de diferentes aplicações pode-se sugerir o uso destes painéis para a produção de forros de ambientes interno pequenos objetos e artesanatos onde as solicitações físico-mecânicas são menores.

7.REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-1**: Chapas de madeira aglomerada: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT,2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: Chapas de madeira aglomerada: requisitos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1480-3**: Chapas de madeira aglomerada: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BARROS FILHO, R.M.**Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia-formaldeído e melamina-formaldeído.**2009.99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)-Universidade Federal de Ouro Preto,Ouro Preto,2009.

BELINI, U.L.**Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do Eucalyptus grandis em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF.**2007.89 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”,Universidade de São Paulo,Piracicaba,São Paulo,2012.

BELINI, U. L.**Caracterização tecnológica de painéis de fibra da madeira de eucalipto,Eucalyptus grandis,e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar,Saccharum sp.**2012. 169 f. Tese (Doutorado em Ciências)-Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz “,Universidade de São Paulo,Piracicaba,São Paulo,2012.

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

CLOUTIER, A. Oriented strand board (OSB): **raw material,manufacturing process,properties of wood-base fiber and particle materials.** In: International seminar on solid wood products of high technology, 1998, Belo Horizonte. **Anais ...**Belo Horizonte: SIF, 1998.p. 173-185.

DACOSTA, L. P. E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas de partículas aglomeradas.** 2004. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

DIAS, N. A.B.**Aproveitamento de resíduos de Pinus sp para produção de chapas de partículas de três camadas com utilização de adesivo poliuretano á base de mamona.**2008, 80 f. Monografia (Graduação em Engenharia Industrial Madeireira),Universidade Estadual Paulista,Itapeva ,2008.

DURATEX S. A. **Informação de valor.** 2009. Disponível em: <<http://www.investinfo.com.br/Temp/N05523YP.pdf> >. Acesso em: 18 de abril de 2016.

EUCATEX S.A Indústria e Comércio, [http:// www.eucatex.com.br](http://www.eucatex.com.br), Acesso em 15 de abril de 2006.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricada com madeira de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Tecnologia de Produtos Florestais, UFSM, Santa Maria.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT), **Informações sobre madeiras, Pinus-eliote**, Disponível em : http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7 , Acesso : 15 de abril de 2016

IRLE, M. A. et. al. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IWAKIRI, S. **Resíduos de serrarias na produção de painéis de madeira aglomerada de eucalipto**. Scientia Agrária, Piracicaba, v. 1, n-12, p. 23-28, 2000 a.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. FUPEF-. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. Curitiba/PR. 2005.

IWAKIRI, S. SALDANHA, LK.; ALBUQUERQUE, C.E.C.; MENDES, L.M. **Influência da espessura de partículas e reforço laminar nas propriedades dos painéis de partículas orientadas-OSB de Pinus taeda**. Cerne, Lavras, v. 15, n. 1 p. 116-122, 2009

JUNIOR, J.B.G.; MENDES M.L.; MENDES F.R.; GUIMARÃES, B.M.; R.; MELO R.R. **Efeito do teor da parafina nas propriedades físico-Mecânicas de Painéis Aglomerado de Pinus oocarpa**. 2013. Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v.04, n. 01, p. 72-82, 2013.

LACOMBE, A.E.J.; SICHIERI, P.E. **Painéis de madeira aglomerada produzidos com resíduos de serragem e poliestireno expandido para aplicações na construção civil**. 2014. 111 f. Tese (Pós-Graduação)- Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: Unesp, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2009. 40 f. Apostila de aula.

LATORRACA, J.V.F.; IWAKIRI, S. **Efeitos do tratamento das partículas de Eucalyptus dunni (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso**

de aditivos sobre as propriedades físico-mecânicas de chapas de madeira-cimento. Revista Cerne. v.6, n.1,p.001-008,200.

LIMA, Felipe Oliveira, **Análise da influência do tempo de prensagem na produção de chapas de partículas produzidas com resíduos de madeira.** 2014. 66 f. TCC (Graduação)-Curso Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2014.

MALONEY, T.M. **Modem particleboard & dry process fiberboard manufacturing**, Updated Edition. San Francisco: Miller Freeman Inc. (1993).

MATTOS, R.L.G.; GONÇALVES, R. M. CHAGAS, F.B. **Painéis de madeira Brasil: panorama e perspectivas.** BNDS Setorial, n.27, p.121-156,2008.

MENDES. L.M. **Pinus spp. na produção de painéis de partículas orientadas (OSB).** 2001. 156 f. Tese (Doutorado)-Programa de pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES. Rafael F. **Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados.** Ciência Florestal. Santa Maria. v. 22,n.1,p.161-170.2012.

NPEN 310: 2002 “Placas de derivados de madeira-Determinação do módulo de elasticidade em flexão e da resistência à flexão”.

NPEN 312-2: 2000, “Aglomerado de partículas-Especificações-Parte 2: Requisitos para placas de uso geral ambiente seco”.

NPEN 317: 2002 ,“Aglomerado de partículas e aglomerado de fibras-Determinação do inchamento em espessura após imersão em água”.

NPEN 319: 2002, “Aglomerado de partículas e aglomerado de fibras-Determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa”.

NPEN 322: 2002, “Placas de derivados de madeira-Determinação do teor em água.”

OLIVEIRA, J.T.S.; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro.** 420 p, Jerônimo Monteiro – E.S.: ed. Suprema Gráfica, 2007.

OLMOS, M. A.C. **Equipamento e processamento de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira.** São Carlos, 1992. 114 p. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PEDRAZZI, C. **Qualidade de chapas de partículas de madeira aglomerada fabricadas com resíduos de uma indústria de celulose.** Ciências Florestais, Santa Maria, RS, v. 16, n. 2, p. 201-212,2006;

PIERRE, F.C. **Caracterização físico-mecânica de painéis aglomerados de Eucalyptus grandis com adição de resíduos industriais madeireiros,** 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

REMADE: Revista da Madeira, **Diversidade de produção amplia usos no setor.**, n. 95 abril de 2006,Disponível em : <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=872&subject=Painel&title> Acesso em: 15 abril 2016.

SANTOS, R.C. dos. **Aproveitamento de resíduos da madeira de candeia (Eremanthus erythropappus) para produção de chapas de partículas.** 2009.159 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SURDI, P.G.;BORTOLETTI, G.;CASTRO,V.R.;TOMASELLO Filho,M.;CANALE,A.**Avaliação do desempenho de painéis de partículas confeccionados com resíduos de madeira de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla.**In: XIV EMBRAMEM-Encontro Brasileiro em Estruturas de Madeira.Natal/RN.Anais.Abril/2014

WINISTORFER, P.M.; MCFARLAND, D.L.; RICHARD, C.S. **Evaluating the performance of tem wax formulations and three application rates on properties of oriented strand board.** In: proceedings of the twenty-sixth Washington State University International Particleboard-Composite Materials Symposiom,**Anais....**Pulmann,1992,p.236-250.

