



UNIVERSIDADE DE UBERABA

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E EXTENSÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA
MESTRADO PROFISSIONAL**

DANIELLE ZANQUÊTA DE SOUZA

PAINÉIS DE RESÍDUOS AGLOMERADOS UTILIZANDO AMIDO DE MILHO

UBERABA – MG

2018



DANIELLE ZANQUÊTA DE SOUZA

PAINÉIS DE RESÍDUOS AGLOMERADOS UTILIZANDO AMIDO DE MILHO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

Orientador:

Prof. Dr. David Maikel Fernandes

Co- orientador:

Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer

UBERABA – MG

2018

Catálogo elaborado pelo Setor de Referência da Biblioteca Central UNIUBE

S89p Souza, Danielle Zanquêta de.
Painéis de resíduos aglomerados utilizando amido de milho / Danielle Zanquêta de Souza. – Uberaba, 2018.
64 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química, concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. David Maikel Fernandes.

Coorientador: Prof. Dr. José Roberto Delalibera Finzer.

1. Resíduos industriais. 2. Amido de milho. I. Fernandes, David Maikel. II. Finzer, José Roberto Delalibera. III. Universidade de Uberaba. Programa de Mestrado em Engenharia Química. IV. Título.

CDD 363.728

DANIELLE ZANQUÊTA DE SOUZA

PAINÉIS DE RESÍDUOS AGLOMERADOS UTILIZANDO AMIDO DE MILHO

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química do Programa de Pós-graduação em Engenharia Química – Mestrado Profissional da Universidade de Uberaba (PPGEQ-MP/UNIUBE).

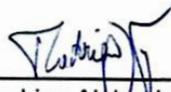
Área de concentração: Desenvolvimento de Processos Químicos Agroindustriais

Aprovado em: 28/02/2018

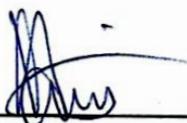
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. David Maikel Fernandes - Orientador
Universidade de Uberaba



Prof. Dr. Rodrigo Alejandro Abarza Munoz
Universidade Federal de Uberlândia



Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis
Universidade de Uberaba



Prof. Dr. Brunno Borges Canelhas
Instituto Federal do Triângulo Mineiro

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

Dedico este trabalho aos meus pais Nilza e Marcos, meus exemplos de vida, fé, coragem e perseverança.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me iluminar e abençoar minha trajetória.

Aos meus pais Marcos Antônio de Souza e Nilza Aparecida Zanquêta Souza, pelo apoio, incentivo e por tudo que sempre fizeram por mim durante minha trajetória acadêmica e pessoal, obrigada pela simplicidade, amizade, amor e carinho, pessoas de exemplo em minha vida.

Aos meus irmãos, Tiago, Marcelle e Tatielle, pela confiança e pelo constante carinho, companheirismo e apoio.

Agradeço à Universidade de Uberaba pelo apoio desde a graduação, dando-me a oportunidade de desenvolver-me como profissional.

Ao meu namorado Leandro pela paciência, pelo constante carinho e incentivo.

Aos meus guias espirituais, pela proteção e inspiração.

Ao Professor Dr. David Maikel Fernandes por ter me aceitado como orientanda e com tanta dedicação ter me ajudado a desenvolver este trabalho. Obrigada pelos desafios e por todos ensinamentos.

Ao professor Dr. José Roberto Delalibera Finzer gostaria de agradecer pelo privilégio de ter sido sua aluna tanto na Graduação em Engenharia Química quanto no Mestrado Profissional em Engenharia Química, muito obrigada por me incentivar, por sua dedicação, preocupação, pela sua paciência e pelas dicas importantes que contribuíram para a minha formação profissional.

Agradeço ao meu colega Tiago Henrique da Silva, por toda ajuda e por todo apoio prestado para a realização deste trabalho.

Agradeço à Duratex pelo apoio na realização das medidas físicas de resistência e densidade dos painéis.

À todos meus colegas do Mestrado agradeço pelo companheirismo, pelo incentivo, pelo apoio e por compartilharem suas experiências profissionais tão importantes. À todos que, de alguma maneira, estiveram comigo e contribuíram para a realização deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG, pelo suporte dado ao desenvolvimento dessa dissertação.

RESUMO

Os resíduos provenientes das indústrias de placa de fibra de madeira de média densidade, conhecida internacionalmente como MDF (Medium Density Fiberboard), podem ser reutilizados como matéria-prima, e quando adicionado o adesivo ecológico, geram um material menos prejudicial à saúde e ao meio ambiente quando comparado ao processo de fabricação utilizando resina sintética (uréia-formaldeído). Desta forma, este estudo tem como objetivo, a aplicação do amido de milho como adesivo do MDF e a reutilização dos resíduos do processo de fabricação do mesmo, diminuindo o descarte em aterros sanitários e incineração desses resíduos. Para alcançar esse objetivo, foi executado um processo em escala laboratorial reproduzindo o processo industrial do MDF, a colagem das fibras de madeira ocorreu com a utilização do adesivo que foi produzido à partir do amido de milho, a prensagem da mistura em prensa manual e em seguida a secagem da chapa. Com a intenção de apurar a eficácia do processo e do produto final, foram realizadas análises físico-químicas, as quais determinaram as características da resina de adesão, como pH, viscosidade, densidade e análises físico-mecânicas no corpo de prova produzido, que foram resistência a tração perpendicular, teor de umidade, densidade e inchamento em espessura. As análises para a resina mostraram que a mesma apresentou alta viscosidade, devido a baixa uniformidade das partículas, o qual, poderá ser melhorado com o uso de catalisadores, pH de 5,8, indicando que ocorreu o processo de gelatinização e posteriormente a retrogradação. A densidade apresentada (1005 kg/m^3) foi evidenciada pelo alto teor de água no preparo da mesma (95,8% m/m). Os testes de tração apresentaram valor médio de $3,61 \pm 1,15 \text{ kg/cm}^2$ e densidade média de $440,63 \text{ kg/m}^3$, indicando que houve interação boa entre a matéria prima e a resina utilizada. Os testes de umidade e inchamento em espessura mostraram-se dentro dos limites estabelecidos em norma, sendo estes valores de $6,30 \pm 0,13$ (% m/m) e $6,04 \pm 0,56$ (%), respectivamente, indicando uma baixa absorção de água do material produzido. Os resultados apresentados mostraram-se promissores do ponto de vista mercadológico, uma vez que, foram aproveitados resíduos da indústria moveleira e utilizada uma resina natural.

Palavras-chave: Amido de milho. MDF (Medium Density Fiberboard). Reutilização de resíduos.

ABSTRACT

Residues from Medium Density Fiberboard industries, known internationally as MDF can be reused as a raw material, and when added with the eco-friendly adhesive it generates a material less harmful to health and the environment, compared to the manufacturing process using synthetic resin (urea-formaldehyde). This study has as general objective of cornstarch application as a MDF adhesive, also the reuse of the residues from the manufacturing process, thus reducing the disposal in landfills and incineration of such waste. In order to achieve this objective, a laboratory-scale process was performed reproducing the industrial process of the MDF. The adhesive and the wood fibers were produced, and the maize starch was used as an adhesive. The pressing of the mixture was made in a manual press and then it was dry in a plate. For the measured the efficacy of process and product, it performed the physical chemistry analysis and determinate characteristics of adhesive, such as, pH, viscosity, specific gravity and mechanical analysis in proof body produced which were resistance to perpendicular traction, water content, specific gravity and swelling in thickness. The adhesive analysis showed high viscosity due to the lower uniformity of particles which will be improved using catalysts, pH 5.8, indicating that the gelatinization process occurred and then retrogradation. The specific gravity presented (1005 kg/m^3) was in evidence for the higher amount of water in sample procedure (95.8% w/w). The traction tests presented medium value $3.61 \pm 1.15 \text{ kg/cm}^2$ and medium specific gravity of 440.63 kg/m^3 indicating a good interaction between raw material and adhesive. The water content and swelling in thickness 6.30 ± 0.13 (% w/w) e 6.04 ± 0.56 (%) respectively indicated the lower absorption of water of produced material and both according to norms. The results presented were promising from the market point of view, since the use of waste from the furniture industry and a natural resin was used.

Key words: Maize starch. MDF (Medium-density fiberboard). Reuse of waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Capacidade produtiva dos principais produtores de Painéis de Madeira Reconstituídos do Brasil.....	7
Figura 2. Diagrama do sistema produtivo do MDF.....	11
Figura 3. Pátio de toras.	14
Figura 4. Estocagem das toras.	15
Figura 5. Picadores.	17
Figura 6. Resfriador Estrela.....	23
Figura 7. Armazenamento correto das chapas.....	24
Figura 8. Reação da ureia e formaldeído para a formação da resina ureia-formaldeído.....	27
Figura 9. Estrutura do amido.	29
Figura 10. Estrutura da Amilose.....	29
Figura 11. Estrutura da Amilopectina.....	30
Figura 12: Viscosímetro de Brookfield.	33
Figura 13: Projeto da prensa: (a) forma; (b) base; (c) tampa e; (d) vistas.....	34
Figura 14. Protótipo da prensa.....	35
Figura 15: Dinamômetro.	35
Figura 16. Fibras de madeira que receberam a adesão de amido de milho.	37
Figura 17. Mistura da fibra de madeira com a resina de adesão.	37
Figura 18. Pré-prensagem.....	38
Figura 19. Pré-prensagem à frio (a) e Prensagem a quente (b).	38
Figura 20. Resfriamento da chapa de MDF.....	39
Figura 21. Placa de MDF lixada.....	39
Figura 22. Equipamento para determinação da densidade da chapa.	40
Figura 23. Equipamentos utilizados no ensaio de tração perpendicular, baseado na EN 319 (2003).	42
Figura 24. Densidade Média – parte 1.....	51
Figura 25. Densidade Média – parte 2.....	52
Figura 26. Densidade Média – parte 3.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura de pico e entalpia de gelatinização (Tp1 e $\Delta H1$) e retrogradação (Tp2 e $\Delta H2$) de suspensões de amido de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose.	36
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Propriedades de pasta de amidos de milho (M) e ceroso (AP).....	36
Quadro 2. Adesivo de amido de milho.....	46
Quadro 3. Tração Perpendicular do MDF.....	48
Quadro 4. Teor de Umidade.....	49
Quadro 5. Inchamento em espessura.....	49
Quadro 6. Especificações de chapas de MDF.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS

ABIMCI	Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente
ABIPA	Associação Brasileira da Indústria de Painéis De Madeira
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CI	Calibração Interna
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FF	Fenol-formaldeído
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDI	Difenil Metano Di-Isocianato
MF	Melamina-Formaldeído
MG	Minas Gerais
PMR	Painéis de Madeira Reconstituídos
PVC	Policloreto de vinila
UF	Ureia-Formaldeído
UNIUBE	Universidade de Uberaba

LISTA DE ABREVIATURAS EM INGLÊS

FR	Fire resistance
HD	High density
HDF	High Density Fiberboard
MDF	Medium Density Fiberboard
MDP	Medium Density Particleboard
MR	Humidity Resistance
ORP	Oxidation Reduction Potencial
OSB	Oriented Strand Board
RVA	Rapid Visco Analyser
SDF	Super Density Fiberboard

LISTA DE SÍMBOLOS

$\%$	Porcentagem
$^{\circ}C$	Grau Célsius
ΔH	Variação de entalpia
A_{base}	Área da base do corpo de prova
AI	Adesão Interna
cP	Unidade de viscosidade
d	Densidade
Ei	Espessura inicial do corpo de prova
Ef	Espessura final do corpo de prova
F	Força de ruptura
g	Gramas
g/cm^3	Gramas por centímetro cúbico
h	Hora
hi	Espessura do corpo de prova
I	Inchamento de espessura do corpo de prova
kg	Quilograma
kgf	Quilograma força
kg/m^2	Quilograma por metro quadrado
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
kgf/cm^2	Quilograma força por centímetro quadrado
L	Litro
m	Massa do corpo de prova
m^3	Metro Cúbico
mi	Massa inicial do corpo de prova
mf	Massa final do corpo de prova
mL	Mililitro
mm	Milímetro
pH	Potencial de hidrogênio iônico
t	Tempo
T	Temperatura
U	Umidade
v	Volume do corpo de prova

<i>VF</i>	Viscosidade Final
<i>VM</i>	Viscosidade Máxima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1 Painéis de Madeira Reconstituídos	5
3.2 Painéis compensados	8
3.3 Painéis de fibras de média densidade (MDF)	8
3.4 Reutilização de resíduos de indústrias	10
3.5 Processo de produção do MDF.....	10
3.5.1 Etapas do processo de produção do MDF.....	10
3.5.2 Pátio de toras	13
3.5.3 Estocagem das toras	14
3.5.4 Descascador.....	15
3.5.5 Picador.....	16
3.5.7 Estoque e classificação de cavacos	17
3.5.8 Produção de fibras.....	18
3.5.9 Armazenagem.....	19
3.5.10 Aplicação de Adesivos	19
3.5.11 Adesivos.....	21
3.5.12 Formação de Colchão.....	21
3.5.13 Cilindros Formadores.....	22
3.5.14 Corte das Chapas.....	22
3.5.16 Tipos de MDF	24
3.5.17 Armazenamento de painéis	24
3.6 Produção dos painéis de madeira no Brasil	25
3.7 Resinas utilizadas no processo de fabricação	26
3.7.1 Resina à base de Ureia-formaldeído.....	26
3.7.2 Adesivo à base de amido de batata.....	27
3.8 Amido de milho	27
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1 Matéria-prima e Materiais	32
4.1.1 Equipamentos	32

4.2 Produção de painéis em escala laboratorial	36
4.2.1 Preparação do Amido de milho como material de adesão	36
4.2.2 Preparação das fibras de madeira	37
4.2.3 Produção da chapa de madeira	37
4.3 Teste físico-mecânico	40
4.3.1 Densidade (d)	40
4.3.2 Umidade (U).....	41
4.3.3 Inchamento (I).....	41
4.3.4 Resistência à tração perpendicular (Adesão Interna – AI).....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
6 CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

Devido à redução da disponibilidade das madeiras nativas, apresenta-se a necessidade do desenvolvimento de alternativas que possam substituí-las de forma sustentável, com isso, para a fabricação de painéis de *Medium Density Fiberboard* (MDF) utilizam as madeiras provenientes de cultivos florestais sustentáveis, *Pinus* e *Eucaliptus*, principalmente, por serem vistas como um material ecologicamente correto por diminuir o desmatamento de florestas nativas, onde o adesivo aplicado entre as fibras para a produção de MDF mais utilizado e o adesivo à base de ureia-formaldeído, cuja justificativa se baseia exclusivamente no baixo custo e disponibilidade das matérias-primas que compõem sua fabricação. (EUGENIO, 2016).

O MDF, ou fibras de média densidade, possuem boa usinagem devido à sua superfície plana e uma aceitação abrangente de diversos acabamentos com revestimento, sendo um produto estável, homogêneo e uniforme. Os painéis de MDF são folhas constituídas de fibras lignocelulósicas e resina sintética ou outro método de adesivo adequado, onde são unidos através da colagem mediante o uso de calor e pressão (ESPINOSA; JR., 2000).

Segundo mostra o estudo realizado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES (2014), que tem o título “Panorama de Mercado – painéis de madeira”, os painéis de madeira reconstituídos (PMR), são os painéis cuja demanda vem crescendo a taxas mais elevadas no país, sobretudo o MDF. No Brasil, houve um declínio da indústria de madeira tropical para compensados e serrados em função de diversos fatores. Pela ótica da oferta, podem-se citar: dificuldades logísticas; baixa taxa de retorno econômico-financeiro da atividade e maior fiscalização de madeira ilegal. Contudo, também existem restrições na demanda: concorrência dos compensados com PMR com propriedades cada vez melhores graças às constantes inovações de produtos e maior número de consumidores conscientes exigindo madeira legal e rastreada, seja no exterior ou no mercado local (VIDAL; HORA, 2014).

Conforme relatório publicado pela Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2015) no Brasil, a área de árvores plantadas para fins industriais somou 7,74 milhões de hectares em 2014 significando um aumento de 1,8% em relação a 2013, esse total corresponde a apenas 0,9% do território brasileiro. Além das árvores plantadas, dos 851 milhões de hectares do território nacional, 66,1% estavam cobertos por habitats naturais, 23,3% ocupados por pastagens, 6,2% por agricultura e 3,5% por redes de infraestrutura e áreas urbanas. Os plantios de *Eucaliptus* são 5,56 milhões de hectares da área de árvores plantadas no País, o que representa 71,9% do

total, e estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais em 25,2%, São Paulo em 17,6% e Mato Grosso do Sul em 14,5%.

Vem crescendo a demanda por produtos ecologicamente corretos que não agridam à saúde humana e ao meio ambiente, exigindo assim, o desenvolvimento de novas matérias-primas e novas formas de produção. Em relação ao MDF, segundo as questões ambientais, a madeira utilizada na fabricação dos painéis já tem se superado por se tratar de materiais oriundos de reflorestamento, já em relação ao adesivo, além de acompanhar o crescimento do país, deve-se buscar novas fontes de fornecimento.

Os adesivos utilizados para colagem de componentes de madeira dependem de diversos fatores que o classificam como eficiente: compatibilidade química e física e entre adesivo e o substrato, durabilidade, facilidade de custo e uso, requisitos de processo, e propriedades mecânicas (VICK, 1987). Além da existência de outros adesivos, tais como a melamínica, fenólica entre outras, atualmente a resina ureia-formaldeído tem sido a mais utilizada pelas indústrias de painéis, por apresentar algumas vantagens como: baixa influencia na coloração, baixo custo, “cura” rápida, alto teor de sólidos e “tempo de gel”. Já as principais desvantagens são: a emissão de formol e a baixa resistência à água (KATSUKAKE, 2009).

No processo produtivo das indústrias moveleiras de base florestal, são gerados muitos resíduos, dentre eles: cavacos (pequeno pedaço de madeira, que pode ter tamanhos variáveis entre 5 a 50mm), serragem (pó de fragmentos que saem da madeira que se serra) e maravalha (raspa da madeira). Muitas vezes, estes resíduos não são utilizados pelas suas indústrias de fabricação, e desta forma, são descartados em locais inadequados ou são incinerados (BRAND; KLOCK; MUÑIZ; SILVA, 2004).

A queima de resíduos do MDF libera gases que são prejudiciais ao meio ambiente devido à composição de resinas e também as peças que tiveram um certo tipo de laminado plástico como revestimento ou pintura. Estes resíduos também podem ser queimados em olarias para gerar energia, porém, há emissão de gases levando a impactos ambientais ainda pouco conhecidos (WILDNER, 2015). Os gases gerados durante o processo de combustão destes resíduos são: Formaldeído (CH_2O), Clorofórmio ($CHCl_3$), Dióxido de Nitrogênio (NO_2), Dióxido de Carbono (CO_2) e Monóxido de Carbono (CO) (FARAGE et al, 2012).

Com a intenção de reduzir a preocupação com os fatores de riscos associados, utiliza-se um adesivo à base de amido. Os materiais à base de amido possuem grande potencial para serem utilizados em todo o mundo, devido à fonte local de amido, de resíduos e fibras de resíduos em diversos países (ABBOTT; CONDE; DAVIS; WISE, 2012). O amido é um polissacarídeo muito utilizado e abundantemente encontrado na natureza, sendo a principal fonte de nutrientes

das plantas superiores. Possui ampla aplicação em vários setores como a indústria têxtil, farmacêutica, de papel, plástica, siderúrgica e alimentícia, estando relacionado ainda ao seu baixo custo. O amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que confere características à grande parte dos produtos processados, possuindo aplicações industriais como estabilizador de coloides, agente gelificante, espessante, adesivo, retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

Existe uma preocupação quanto ao uso de formaldeído nas resinas empregadas na produção de MDF, logo, o intuito deste trabalho baseia-se no aproveitamento destes resíduos provenientes do MDF para produção de novos painéis utilizando o amido como adesivo, o qual corrobora com o uso de materiais que provoquem uma redução no impacto ambiental causado, sobretudo em curto prazo (WEBER, 2011).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o processamento de resíduos de MDF provenientes de fabricação em indústria moveleira com utilização de um aglomerante natural (amido de milho).

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar a fabricação de aglomerados (em corpos dimensionados) utilizando adesivos naturais, os quais serviram como corpos de prova para os testes de resistência;
- Realizar testes de resistência mecânica dos materiais fabricados para analisar a viabilidade da redução da utilização de resinas sintéticas a base de ureia-formaldeído e avaliar o uso de produtos naturais a base de amido, para fabricação de painéis com resíduos de MDF.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Painéis de Madeira Reconstituídos

Segundo Iwakiri (2005), a partir dos diversos elementos de madeira, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva.

Segundo o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES, 2008) essa definição é reforçada, ao qual, descreve os painéis como estruturas fabricadas com madeira em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de temperatura e pressão, e em alguns casos específicos utilizam-se resinas. A madeira maciça pode ser substituída por este tipo de produto em diferentes usos, podendo ser aplicado na fabricação de pisos e móveis. O surgimento destes painéis ocorreu principalmente para atender à necessidade gerada devido à escassez e custo da madeira maciça (BNDES, 2008).

Os painéis de madeira reconstituídos são fabricados com base no processamento químico da madeira, onde a mesma passa por diferentes processos de desagregação, que se dividem em dois grupos: de fibra, compostos por madeira em estágio ainda mais avançado de desagregação e os formados por partículas de madeira. Logo, trata-se de um processo para reduzir a madeira em pequenos pedaços, mesclá-los com resinas, para em seguida, com a ação da pressão e da temperatura, formar colchões de madeira que posteriormente são cortados (BIAZUS et al., 2013).

Em 2017 a produção de painéis de madeira no mercado doméstico permaneceu estável em 2,6 milhões de metros cúbicos. Os painéis de madeira que foram exportados de janeiro a maio alcançou a marca de 490 mil metros cúbicos, sendo 36,5% acima de igual período de 2016 com um valor de US\$ 137 milhões, valor 25,7% maior do que no primeiro semestre de 2016. Os principais parceiros comerciais de painéis de madeira são os países latino-americanos que juntos somam um faturamento de US\$ 113 milhões, representando um aumento de 25,6% (MOREIRA, 2017).

Segundo Vidal e Hora (2014), os principais tipos de painéis de madeira reconstituídos são:

➤ Chapa de Fibra (*hardboard*): também chamada de chapa dura, consiste em uma chapa de espessura fina resultante de uma prensagem a quente de fibras de madeira, por meio de um processo úmido, que reativa os aglomerantes naturais da própria madeira e não há adição de resinas, o que confere ao produto uma elevada densidade. Os processos úmidos são aplicáveis as chapas duras de altas densidades e ao painel de isolamento, que é de baixa densidade. É utilizada principalmente para a produção de fundos de gavetas e fundos de armários, porém, vem perdendo lugar para o MDF.

➤ Chapas de Fibra Isolante (*Insulation board*): possui densidade relativamente baixa, produzido a partir de fibras de madeira. É realizado por meio de processo úmido para fabricação e a fase mais importante para sua consolidação está na secagem da chapa. Essas chapas são empregadas para aplicações que necessitam de isolamentos térmicos e acústicos, como forros e divisórias e isto ocorre em função de sua constituição em baixas densidades.

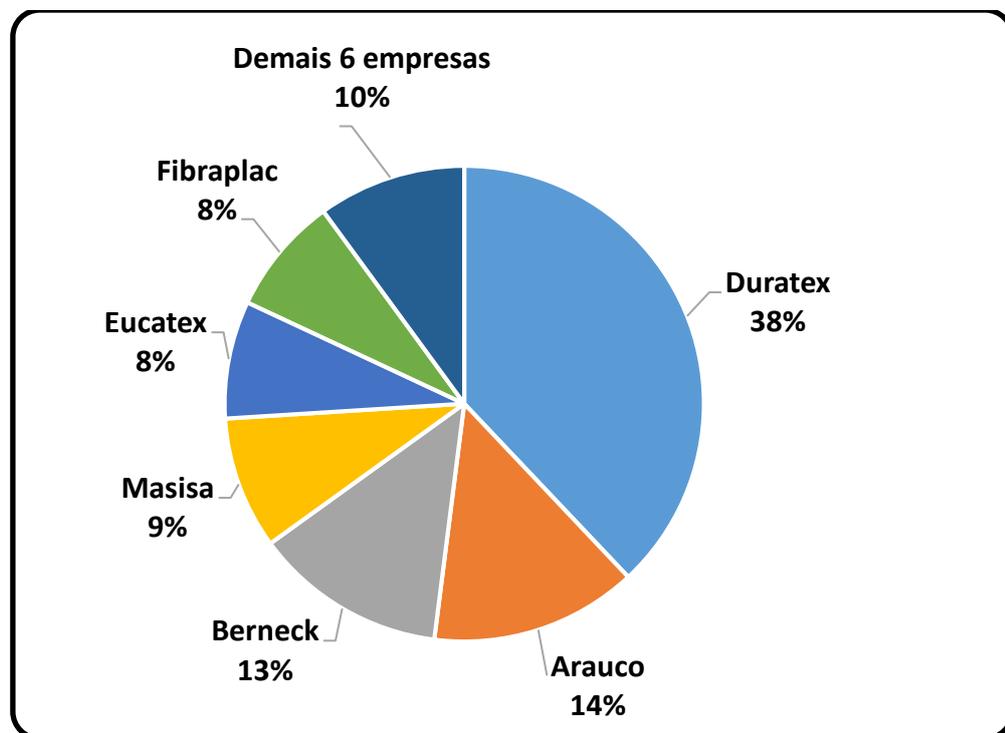
➤ MDP (*Medium Density Particleboard*): São produzidos com partículas de madeira, com a adição de um adesivo sintético e consolidado através de aplicação de calor e pressão na prensa quente (IWAKIRI, 2005). É um painel de madeira reconstituído assim como o *High Density Fiberboard* (HDF) e o MDF. As partículas são posicionadas de forma diferentes, sendo as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas superfícies externas, formando três camadas. São aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua conferindo ao produto melhores resistências. Estes painéis são produzidos com madeiras de plantios florestais de *Pinus* e *Eucalyptus* (ABIPA, 2010). É bastante utilizado na fabricação de tampos de mesas, estantes, laterais de armários e divisórias (VIDAL; HORA, 2014).

➤ MDF: parecido com o MDP, onde, o que diferencia, são algumas etapas de produção. Neste caso, as partículas são cozidas, o que dá um maior grau de desagregação (fibras). Ele tem maior consumo de madeira e de resina por metro cúbico do que o MDP, conferindo um valor mais elevado. O MDF possui algumas vantagens em relação ao MDP devido às suas características mecânicas específicas que o aproxima da madeira maciça, permitindo assim a capacidade de usinagem, usos e aplicações mais versáteis do que o painel de partículas. Seus correlatos, HDF e *Super Density Fiberboard* (SDF), apresentam menor espessura, maior densidade e possuem outras possibilidades de aplicações, como pisos.

➤ OSB (*Oriented Strand Board*): trata-se de um painel de tiras orientadas que é formado por tiras ou lascas de madeiras orientadas perpendicularmente em camadas diversas. Também é empregado em móveis, principalmente em painéis decorativos, embalagens e construção civil.

Segundo as estimativas para a capacidade de produção (Figura 1), é possível observar a capacidade instalada de Painéis de Madeira Reconstituídos (PMR) no Brasil no fim de 2013, com Duratex na liderança, seguida de Arauco, Berneck, Masisa, Eucatex e Fibraplac. Pode-se observar que a Duratex, Arauco e a Berneck são as maiores empresas quando se diz respeito à capacidade de produção. No Brasil, a localização das plantas está nas proximidades dos polos moveleiros ou em locais onde a logística possa favorecer o escoamento da produção para os clientes (BNDES, 2014).

Figura 1. Capacidade produtiva dos principais produtores de Painéis de Madeira Reconstituídos do Brasil.



Fonte: Adaptado de BNDES, 2014.

Tendo em vista que os painéis de madeira surgiram devido à necessidade de amenizar a anisotropia (característica de um meio ou um material, em que certas propriedades físicas serão diferentes conforme as diferentes direções) e a instabilidade dimensional da madeira maciça para a diminuição de custos e assim melhorar as propriedades isolantes, acústicas e térmicas, estes painéis dão um complemento devido a necessidade reconhecida no uso da madeira serrada e ampliam a sua superfície útil, através da expansão de uma de suas dimensões (largura), para, assim, otimizar sua aplicação (REMADE, 2004a).

Através do desenvolvimento tecnológico no setor de painéis, têm surgido novos produtos no mercado preenchendo os requisitos de uma demanda cada vez mais exigente e especificada (REMADE, 2004^a).

Em se tratando de tecnologias avançadas no processo de fabricação dos painéis de madeira o Brasil está entre os mais avançados. Sempre investindo em automação e tecnologia, as empresas construíram parques industriais modernos que são destinados à instalação de novas unidades, à atualização tecnológica das plantas já existentes, à implantação de linhas contínuas de produção e aos novos processos de impressão, impregnação, revestimento e pintura (ABIPA, 2010).

As utilizações dos painéis de madeira estão ligadas às propriedades mecânicas e físicas dos mesmos. Características como: resistência, uniformidade da superfície, uso interior e exterior (guarda-roupa, cômoda, armário, etc.), tolerância à usinagem, resistência à fixação de parafusos, dentre outros, estão associados às restrições técnicas para o uso e aplicação de diferentes tipos de painéis de madeira.

3.2 Painéis compensados

Os painéis compensados são de uma resistência considerável se comparado ao seu baixo peso e são produtos de valor aceitável (IVANOV, 2008). Estes painéis são constituídos de laminas de madeira que estão sobrepostas e cruzadas entre si, onde as mesmas são unidas por resinas, aplicando pressão e calor (ABIMCI, 2009).

A qualidade do compensado depende, entre outros aspectos, da qualidade das lâminas empregadas na sua composição, sendo elas: a incidência de defeitos, coloração, número de emendas, dentre outros (ABIMCI, 2009).

Para a produção destes painéis compensados, são utilizadas madeiras tropicais, *Eucalipto* e madeira de *Pinus* em maiores quantidades. Atendendo a uma demanda diversificada, o compensado, em relação aos principais usos e aplicações, se mostra fortemente segmentado entre construção civil, embalagens e indústria moveleira (ABIMCI, 2009).

3.3 Painéis de fibras de média densidade (MDF)

Os painéis de MDF constituem um dos tipos de painéis de fibras que incluem as chapas duras, painéis isolantes e de celulose. Há muitas diferenças entre os painéis de partículas e de

fibras, onde a principal distinção está na configuração física dos elementos da madeira que compõem os painéis. A madeira é um material fibroso e dessa forma os painéis de fibra se baseiam em explorar a resistência fundamental da madeira (WOOD HANDBOOK, 2010).

Assim como o MDP e o HDF, o MDF é um painel de madeira reconstituída. Neste tipo de painel, as fibras de madeira são aglutinadas e compactadas entre si através de uma resina sintética ou outro aglutinante adequado, devido à ação conjunta de pressão e de calor por uma prensa de pratos ou por uma prensa contínua. O MDF é um painel homogêneo com excelente estabilidade dimensional (isotropia) e possui uma superfície uniforme e lisa (ABIPA, 2010).

A madeira precisa ser desfibrada, e para esse processo utiliza-se um torno de discos com ranhuras radicais que reduz a madeira a fibras e isto ocorre com ajuda ou não de vapor pressurizado (ELEOTÉRIO, 2000). A produção de painéis de fibra pode ocorrer de duas maneiras, sendo estes classificados como processo seco ou úmido (WOOD HANDBOOK, 2010).

Iwakiri (2005) define como painéis de fibras de média densidade, os painéis que são produzidos a partir das fibras de madeira coladas na maioria das vezes com resina ureia-formaldeído e consolidados através da prensagem a quente.

Esse painéis são produzidos de madeiras que são provenientes de florestas plantadas dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. O MDF é um painel que apresenta ótimas condições de usinagem, apresentando uma densidade de 500 a 800 kg/m³ e devido a homogeneidade proporcionada pelas fibras pode ser facilmente torneado (ABIPA, 2010).

Os painéis de fibras podem ser utilizados em amplas aplicações, sendo elas: isolamento térmico e acústico, divisórias internas, móveis, portas, revestimentos em geral, molduras, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta, dentre outras, em função da densidade do painel (IWAKIRI, 2005). Já na construção civil, é utilizado para a fabricação de pisos, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, rodapés, peças torneadas, pés de mesas e também em embalagens. Na indústria moveleira são utilizados em peças de usinagens e trabalho de baixo relevo, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta e também em diversos tipos de artesanatos (ABIPA, 2014b). Trata-se de um material de resistência específica, menor demanda energética de produção, disponibilidade de matéria prima elevada, transporte, instalação e reciclabilidade. A distribuição uniforme das fibras que são disponibilizadas pela homogeneidade confere ao MDF um acabamento envernizado, utilizando policloreto de vinilha (PVC), laminas de madeira, pinturas ou revestimentos com painéis decorativos (BOM, 2008).

A Norma ABNT NBR 15316-1:2009 define o Painel de Média Densidade como uma chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na linha de formação e densidade

maior que 450 kg/m^3 . Essa norma é utilizada pelos fabricantes Brasileiros de Painel MDF e é baseada nas Normas Europeias (TORQUATO, 2008).

Para fins mercadológicos, a norma classifica a chapa em:

- a) HDF: chapa com densidade $> 800 \text{ kg/m}^3$;
- b) Standard: chapa com densidade $> 650 \text{ kg/m}^3$ e $< 800 \text{ kg/m}^3$
- c) Light: chapa com densidade $< 650 \text{ kg/m}^3$
- d) Ultra light: chapa com densidade $< 550 \text{ kg/m}^3$

Além da variação na faixa estabelecida de densidade (500 a 800 kg/m^3) (MALONEY, 1993), pode haver uma variação na margem superior de 850 kg/m^3 (IWAKIRI, 2005) e também variar a espessura do painel MDF, situando-o numa faixa de 3 a 60 mm.

3.4 Reutilização de resíduos de indústrias

Alguns resíduos como o pó, serragem, marvalha e cavacos que são gerados nas indústrias são descartados, pois, não são reutilizados no processo de fabricação, podendo ser descartados em locais impróprios ou até mesmo ser incinerados (HEDLUND,2013). Todo processo de produção gera resíduos, onde os mesmos podem servir como matéria-prima para a produção de outro produto (WILDNER, 2015).

Os resíduos mais importantes da indústria de madeira são: o pó, com tamanho da partícula inferior a 0,5 mm; a serragem que é gerada a partir da utilização de serras, de tamanhos entre 0,5 a 2,5 mm; a marvalha, com tamanho superior a 2,5 mm; e os cavacos, resíduos oriundos dos picadores, que possuem no máximo (50 x 20 mm) (JUNIOR; SILVA; CASSILHA; PODLASEK; MENGATTO, 2004).

Os resíduos podem ser utilizados para a produção de painéis e assim, favorecer o retorno financeiro quando são reutilizados, evitando o descarte inadequado e a incineração, não contaminando o meio ambiente (HEDLUND,2013).

3.5 Processo de produção do MDF

3.5.1 Etapas do processo de produção do MDF

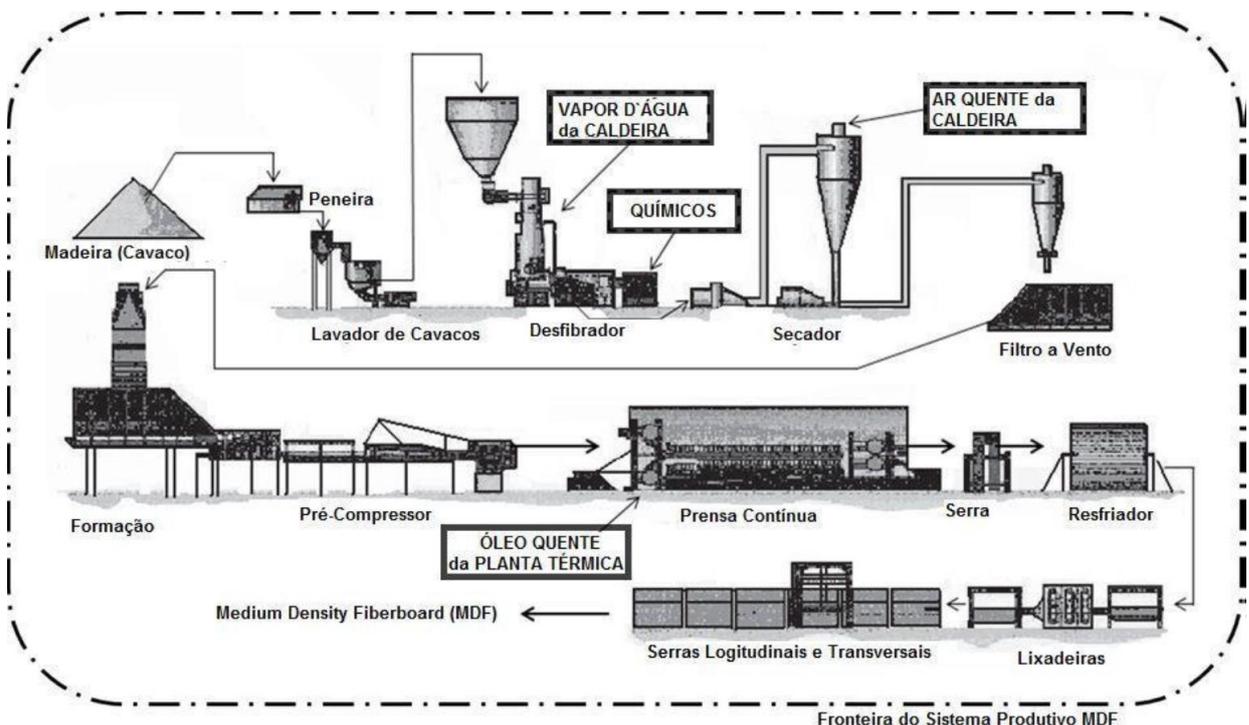
Segundo World Panel Industry (2012), os processos de fabricação do MDF e as tecnologias são similares ao redor do mundo por se tratarem de uma tecnologia recente. A Figura 2 nos mostra um modelo padrão do processo de produção do MDF nas fronteiras “gate-

to-gate” de seu ciclo de vida. Ou seja, há uma limitação de portão ao portão da fábrica, onde se considera somente a etapa de fabricação do MDF.

Este sistema produtivo consiste das seguintes etapas (BNDES, 2010; CAMPOS E LAHR, 2004; PIEKARSKI, 2013):

- Alimentação de madeira: os cavacos de madeira chegam à fábrica na maioria das vezes através de transporte rodoviário. Os cavacos são de *pinus* e *eucaliptos* e são armazenados em pátios expostos ao tempo. Os cavacos possuem umidade média que pode variar de 40 a 70%, em base seca;
- Peneiramento: durante o processo de peneiramento são retirados dos cavacos as partículas pequenas (finos) e grandes partículas/casca de madeira. As partículas finas retornam para a produção em outro processo, já as partículas grandes são vendidas como biomassa para outra indústria. Os cavacos com granulometria desejada seguem no processo;

Figura 2. Diagrama do sistema produtivo do MDF.



Fonte: PIEKARSKI, 2013.

- Lavador de Cavacos: lavam-se os cavacos para a remoção de impurezas. Os resíduos e extrativos são tratados juntamente com efluentes em uma centrífuga;
- Desfibrilador: nesta etapa, para facilitar a operação do desfibrilador na formação da polpa, os cavacos limpos são amolecidos em um digestor com vapor pressurizado e depois seguem para dentro do desfibrilador. Isto reduz consumo energético e a obtenção das fibras

pode ser através de técnicas de aumento de pressão, que é pouco usada, ou por desfibrilador mecânico. Trata-se de um processo que consiste em reduzir mecanicamente a madeira através do cisalhamento até transformá-la em fibras. Este cisalhamento acontece por meio de dois discos de metal rotativos juntamente com a alta temperatura e pressão;

- Mistura de resina: a resina, o catalisador e se necessário aditivo, são incorporados às fibras. As resinas mais utilizadas são a base de ureia-formaldeído; melamina-ureia-formaldeído e tanino-formaldeído;

- Secagem das fibras: para a produção do MDF, os secadores são simples, sendo compostos por um duto inferior onde escoar ar seco e quente que é o responsável pelo transporte das fibras. A umidade das fibras é evaporada pelo calor do ar quente e conduz a fibra até o “filtro à vento”. O aquecimento do ar quente é efetuado por vapor fornecido por uma caldeira, na qual utiliza-se como combustível o pó de madeira gerado na indústria e utiliza-se também o gás natural;

- Filtro à vento: após a passagem por secadores, as fibras que possuem umidade de 7 a 9% passam por um filtro à vento (*Sifter*). O *sifter* é usado para a remoção de grumos de fibras compactadas ou outros materiais que de alguma forma possam causar danos ao processo (borracha, metal) e ao produto final. As fibras secas são as selecionadas e seguem para a formação;

- Formação: as fibras secas que foram selecionadas depois da passagem por filtros à vento, seguem para um silo alimentador que faz uma distribuição uniforme em uma manta formadora por meio de um pendulo dosador de fibras. Essas fibras formam uma manta de fibras uniformes;

- Pré-Compressor: a manta de fibras passa por um desaerador, para que seja retirado o ar existente entre as fibras, e por fim, a manta é pré-comprimida. A manta de fibras é umedecida em sua parte inferior e superior, seguindo para a prensa contínua;

- Prensagem Contínua: a prensa atua em função da pressão e temperatura. Na operação a temperatura ocorre em torno de 170 a 230°C, tempo suficiente para curar a resina e com pressão específica para consolidar a manta em uma densidade desejada. A prensa contínua é aquecida por um óleo térmico que é gerado pela planta térmica II. Iwakiri (2005) destaca que o tempo de prensagem depende da eficiência da espessura do painel, da temperatura, transferência de calor, da distribuição da umidade no colchão, e industrialmente pode ser estabelecido em torno de 6 a 12 segundos por mm de espessura do painel;

- Serras: o painel contínuo que sai da prensagem é cortado por uma serra diagonal na direção transversal;
- Resfriamento: primeiramente o MDF vai para um resfriador por cerca de 40 minutos. Depois, estes painéis repousam por 48 horas para que estabilizem suas propriedades físicas e mecânicas. O resfriamento é efetuado para evitar variações dimensionais da chapa após o aquecimento. Normalmente, é resfriado a temperatura ambiente e são protegidos das intempéries, onde o tempo depende do tipo de linha de formação utilizada;
- Corte, lixamento e revestimento: conforme padrões estabelecidos, o corte é feito procurando estabelecer a medidas dos painéis de MDF. O lixamento está diretamente ligado à preparação da superfície das chapas, para acabamentos finais. O pó que é gerado nesta etapa, retorna para o processo, servindo de combustível para a caldeira;
- Serras Longitudinais e Transversais: os painéis para serem comercializados precisam ser cortados na largura e comprimento específico. Rejeitos que são gerados pelas serras voltam ao processo onde são usados como combustível na Planta de Energia;

Plantas de Energia Térmica: baseando no sistema de produção, existem duas plantas térmicas. Onde a primeira fornece vapor e ar quente para o processo, sendo o seu principal combustível a queima da biomassa (pó de madeira gerado na fábrica e comprado de indústrias) e ocasionalmente a queima do gás natural. Já a segunda planta térmica é a responsável pelo aquecimento do óleo térmico usado na prensa contínua onde seu combustível é o gás natural.

3.5.2 Pátio de toras

Trata-se de um local onde são realizadas as operações com um elevado grau de precisão, e não um simples setor de recebimento e envio de toras à serraria. O pátio recebe seções de fuste (haste roliça de madeira) com comprimento maior no lugar de toras curtas. Estas seções passam por equipamentos que possuem raio laser e “*scanners*”, onde os mesmos realizam rastreamento do fuste com a ajuda de “*softwares*” específicos, os quais, aperfeiçoam o traçamento do mesmo, para obter o máximo de rendimento em madeira serrada (ROCHA, 2002). O apodrecimento da madeira começa após o corte da mesma, fazendo com que ela perca suas defesas contra os insetos e fungos. Esta perda pode acarretar uma qualidade insatisfatória das fibras geradas (BATISTA, 2014).

O pátio de toras leva em consideração diversos fatores, onde o operador deve tentar administrar espécies diferentes, tempos pós corte, idades, estação do ano, diâmetros de toras, ritmos de produção, umidades e estocagens. Entretanto, muitas vezes o que se vê é a

acomodação e aceitação de que as perdas são inevitáveis (FOELKEL, 2012). Na Figura 3 pode-se verificar como é o pátio das toras.

Figura 3. Pátio de toras.



Fonte: KOCH, 2012.

3.5.3 Estocagem das toras

Para garantir um funcionamento constante de produção de chapas, deve ser mantido um estoque mínimo de cavacos e de toras. Na Duratex, unidade de Botucatu, o estoque de cavacos é realizado em pilhas ao ar livre e em silos fechados enquanto que o estoque de toras é somente em pilhas ao ar livre, um motivo importante da secagem ao ar livre é fazer com que seja evaporada a maior quantidade de água possível das toras e cavacos (SANTIAGO, 2007).

Para diminuir custos com transportes, o pátio de secagem deve estar instalado de preferência, próximo às indústrias que irão utilizar a madeira. Deve ser um local bem ventilado, seco, pouco desnível, situado em um lugar alto, longe de rios, brejos ou lagos. Na área, devem ser retiradas matéria orgânica em decomposição e a vegetação, para que possa encher o pátio de cascalho, prevendo a localização de pilhas, transporte, manuseio da madeira e das áreas de circulação (SANTINI, 1985).

Para obter um controle ideal da matéria prima é importante sempre observar a dimensão, formato e conteúdo de umidade das toras. É importante que a estocagem tenha um período curto, sendo no máximo de 45 dias, considerando que já tenha 15 dias de corte, uma disposição e segregação por tempo (BATISTA, 2014).

O empilhamento das toras pode ser interferido devido à irregularidade das mesmas, à compactação das pilhas, ao comprimento e diâmetro, pois quanto maior for o diâmetro e o comprimento, menor serão os espaços vazios, à quantidade de cascas nas toras, pois o volume efetivo para a fabricação do MDF é a madeira sem casca, e às dimensões do *standart* onde as toras são empilhadas, pois quanto maior a altura e o comprimento da tora, maior será o volume sólido da madeira. Os blocos de pilhas devem ser separados por uma distância de 4 a 6 m, sendo uma rua onde deve passar uma rede de hidrantes para a proteção contra incêndios. Os estoques devem estar no mínimo 8 m de prédios, 10 m de campos e 12 m de florestas (BOM, 2008). Através da Figura 4 é possível observar como é feita a estocagem das toras.

Figura 4. Estocagem das toras.



Fonte: KOCH, 2012.

3.5.4 Descascador

A etapa para descascar não é simples. Nesta operação, os métodos para a execução são conhecidos por causarem perdas de madeira e por não retirarem toda a casca. É inevitável a perda de madeira, pois os descascadores nas fábricas precisam ser potentes e robustos, e no caso de descascadores mais robustos, a perda de madeira pode atingir de 1,5 a 3% da massa total. Outro problema existente é a disposição dada à casca e aos resíduos que estão ligados a ela. Em uma fábrica com produção de 2.000 toneladas de celulose por dia, o volume de casca é de quase 1.000 m³/dia. Só que devido aos pedaços gerados, a casca se fragmenta aumentando de volume, e esse volume de casca fragmentada atinge em aproximadamente de 2.000 a 2.500 m³ na forma de pilha, por dia. Com o processo de lavagem das toras, a casca umedece

umentando sua massa significativamente. Logo, se a casca for usada como uma biomassa energética pobre, ainda é uma utilização ecoeficiente, caso contrário, se não houver uso para essa casca a não ser um aterro de resíduos, melhor se esquecer de descascar a madeira na fábrica (FOELKEL, 2012).

Para melhorar a qualidade da classificação das toras descascadas em suas respectivas classes, estas podem ter seus perfis analisados com precisão. Quando as toras já estão descascadas, as mesmas deixam de levar uma grande quantidade de impurezas para dentro da serraria, pois, a casca ocasiona em um desgaste significativo das ferramentas de cortes e um grande gasto na movimentação das peças e lubrificação dos dispositivos de transporte (ROCHA, 2002).

Equipamentos do sistema abrasivo, sistema hidráulico ou sistema mecânico, podem ser utilizados para a retirada da casca. No sistema abrasivo, o descascamento ocorre através do atrito entre os mesmos e as paredes do tambor rotativo, que é aberto em suas extremidades para entrada e saída das toras. Trata-se de um sistema que possui de três a quatro compartimentos giratórios que fazem a movimentação das toras, onde juntamente com a aspersão contínua de água, realizam a lavagem e remoção final da casca. Já o sistema hidráulico é um sistema misto, disposto de dois cilindros giratórios com ranhuras, possuindo função abrasiva e de movimentação das toras, e com um jato de água a alta pressão para retirada de cascas. Por fim, o sistema mecânico remove as cascas por meio de facas rotativas, utilizando o método de cisalhamento de câmbio (BOM, 2008).

O conteúdo da umidade e as condições dos toretes influenciam na eficiência deste descascador. O descascamento é monitorado através da porta móvel na saída do descascador (BATISTA, 2014). Esses sistemas são utilizados para a geração de toras longas, de 6 metros, que são recebidas pela fábrica que alimenta os seus tambores descascadores. Em seguida, as toras descascadas são conduzidas para os picadores (DURATEX, 2009 apud MICHELON, 2011, p.35).

3.5.5 Picador

Na etapa de produção de cavacos há alguns fatores que influenciam na produção, sendo eles: os parâmetros da espécie, o conteúdo de umidade, o diâmetro e o comprimento do torete, que juntamente com os fatores do picador, definem a qualidade, dando origem a cavacos de tamanhos homogêneo e sem grossos (*oversize*), lascas ou finos (*undersize*) (BATISTA, 2014).

As toras são levadas ao picador e são transformadas em cavacos. Tem-se dois tipos de picadores para o MDF, sendo eles, os de tambor e o de disco. O picador de disco é utilizado normalmente em toretes com um diâmetro maior e o picador de tambor é utilizado normalmente em toretes com diâmetro menor. Pode ser inserida uma peneira ao fundo dos picadores, a fim de diminuir as partículas de *oversize* (BATISTA, 2014). Para a produção do MDF o picador mais utilizado é o de disco, como pode ser observado na Figura 5. Este possui uma alimentação horizontal com um ângulo de 45°, forçada por rolos alimentadores tracionados (BOM, 2008).

Figura 5. Picadores.



Fonte: DURATEX, 2009 *apud* MICHELON 2011.

3.5.6 Mesa imantada

São compostas por peneiras magnéticas de placas ou separação, para que ocorra a separação de impurezas ferrosas que possam contaminar a madeira. As mesas imantadas são colocadas após a passagem por picadores, para que ocorra a separação dessas impurezas da madeira picada, no caso, para a produção do MDF (BOM, 2008).

3.5.7 Estoque e classificação de cavacos

Por meio de correias transportadoras, os cavacos seguem para o pátio formando pilhas, para se evitar a mistura de qualquer material não desejado ao cavaco, o pátio deve possuir pisos. Os cavacos devem ser empilhados e estocados adequadamente, para que não ocorra nenhuma

interrupção no abastecimento da linha de produção. Devido à fermentação e aquecimento que acontece no centro da pilha, pode ocorrer uma combustão espontânea, logo, por esse motivo, os cavacos sempre devem ser movimentados. Para que aconteça essa movimentação, utilizam-se carregadeiras de rodas que movimentam os cavacos nos pátios e movimentam os resíduos do sistema de peneiramento (BOM, 2008).

Antes de seguir para o desfibrilador, os cavacos são submetidos a um sistema de peneiras de duas malhas para que seja retirado os grossos (*oversize*) e os finos (*undersize*) dos cavacos ideais, que não devem conter resíduos e devem ter uma granulometria homogênea. A classificação dos cavacos acontece da seguinte forma: os ideais, que são os apropriados com dimensionamento pré-determinado garantindo um bom rendimento operacional do sistema, os grossos, são dimensionados através do picador, pois são cavacos maiores e não são cozidos o suficiente no digestor, podendo ocasionar paradas, variações e aumento no consumo de vapor do digestor e energia do desfibrador, e por fim, os finos, que são usados como energia, pois no processo podem acarretar oscilações e entupimentos na alimentação do desfibrador, trazendo problemas nos testes físicos e afetando a qualidade das fibras (BATISTA, 2014).

3.5.8 Produção de fibras

Nesta etapa, a madeira é transformada em cavacos homogêneos, e depois seguem para classificação e lavagem (BATISTA, 2014). A lavagem de cavacos ocorre a fim de reduzir impurezas minerais dos painéis finais. Estas impurezas possuem quantidades elevadas de sílica, e desta forma, devem ser lavados, pois estes podem levar a prejuízos na qualidade dos painéis. Os principais prejuízos estão nas etapas seguintes do processo de produção, principalmente na aplicação de resinas e aditivos, onde as fibras de madeira são umedecidas ou embebidas neste material, onde a areia se une às fibras se permanecer no processo. Outro problema está no aumento na corrosão da tubulação por onde são conduzidas as fibras até a peneira e silo de fibras, e o principal efeito sendo na formação do colchão, onde a sílica atrapalha na aglutinação das fibras (REIS, 2008).

O sistema de lavagem possui elevado desempenho, que envolve poder de sucção e a alta pressão do jato de água sobre a madeira, logo, as partículas de areia são removidas. As partículas de sílicas e outros minerais vão para o curso de descarte, e as partículas minerais, são retiradas através da fricção dos cavacos, ou por sucção e jato contínuo. Antes do desfibramento os toretes são transformados em cavacos pelos picadores de disco ou cilindro, e após, passam pelo detector de metais (BOM, 2008).

A seguir, os cavacos passam por um pré-tratamento, onde são amolecidos para facilitar a operação do desfibrilador dando origem à formação da polpa (suspensão de fibra e água) e diminuir seu consumo de energia. Esta etapa pode ocorrer com ou sem pressurização, podendo ser químico ou térmico. Os cavacos devem ter entre 40 e 60% de umidade (referindo a massa da madeira seca). Estas etapas não são necessárias quando as fibras, consideradas como polpas, são obtidas por um processo abrasivo, onde no início da linha de produção as toras descascadas são pressionadas contra rebolos abrasivos grandes em meio aquoso. No pré-tratamento químico, os cavacos vão para um digestor com hidróxido de sódio (NaOH) ou cal (CaO). No processo térmico, os cavacos de madeira são umedecidos e aquecidos diretamente em reservatórios rotativos ou fixos, ou são cozidos sob uma atmosfera de vapor d'água. Esta etapa resulta em uma polpa de fibras com maior propriedade aglomerante, mais resistente e flexível, gerando painéis mais rígidos (TORQUATO, 2008).

Podem-se obter as fibras em desfibradores mecânicos, por métodos de aquecimento elevado, utilizando propriedades termoplásticas dos materiais lignocelulósicos (150 a 180°C), ou com técnicas de aumentos brusco de pressão. Desta forma, os métodos de fabricação podem ser divididos em sistema seco, semiúmido ou úmido. Esta etapa, também conhecida como entrelaçamento, possui aplicação na fabricação de diferentes painéis isolantes para produção de chapas duras (TORQUATO, 2004).

3.5.9 Armazenagem

A mistura de fibra e resina vai para o secador, onde a madeira sofre uma redução de umidade de 80 para 10 %, passando a resina por uma etapa de cura que reforça suas características de cola (BOM, 2008). Em seguida, as fibras passam por peneiras e depois são lavadas e mantidas no silo com um volume correspondente a 24 horas de operação. Devido à problemas na linha de escoamento das fibras, este armazenamento visa a necessidade do acúmulo de um volume adequado para não ocorrer interrupção do escoamento (CAMPOS, 2003).

3.5.10 Aplicação de Adesivos

A matéria-prima traz para o processo de produção algumas limitações, dentre elas: o tamanho, as propriedades físicas-mecânicas e os defeitos naturais da madeira. Devido às limitações, estabeleceram como matéria-prima de colagem a aplicação de adesivos, com isso,

foi alterando o conceito de redução da madeira em fragmentos pequenos de forma e geometria variada, no qual os mesmos vão ser unidos subseqüentemente com adição de adesivo perante calor e pressão com a finalidade de formar placas de madeira (DIAS, 2005).

O adesivo deve fazer com que as fibras fiquem umedecidas e fluam de forma controlada de modo que se obtenha uma forma sólida. Há uma ligação entre o adesivo e a fibra, regulando a viscosidade do adesivo, onde os pontos de ligação são movidos pelo escoamento, acomodando a madeira para dar-lhe um melhor contato de superfície. A colagem ou adesão pode ser entendida como um acontecimento que provê um mecanismo de transferência de tensão entre a madeira e a resina, por meio de contatos moleculares (CAMPOS; LAHR, 2004).

Há diversas classificações de teorias de adesão, onde as principais são classificadas em teoria mecânica, teoria da difusão de polímeros e a teoria de adesão química. Na teoria mecânica, a adesão ocorre por meio do enganchamento mecânico, onde em substratos porosos, a fluidez e a penetração formam ganchos fortemente presos aos substratos. Na teoria da difusão de polímeros, a adesão acontece por meio da difusão de segmentos de cadeia de polímeros. Já a teoria de adesão química, pode ocorrer através de ligações primárias (iônicas, covalentes, coordenadas e metálicas) e/ou através forças intermoleculares secundárias, também conhecida por adesão específica (BOM, 2008).

Pode-se dizer que o desenvolvimento de uma colagem boa depende essencialmente de seguir três requisitos: umedecimento correto proporcionado pelo adesivo líquido, capacidade suficiente de modificação da forma por parte do adesivo já solidificado e uma solidificação do adesivo líquido (CAMPOS; LAHR, 2004). Durante o processo de colagem, os adesivos podem obter suas funções de mobilidade e de movimentos: a fluidez, que corresponde ao fluido líquido do adesivo que escoar pela superfície plana do substrato; transferência, movimento do qual o adesivo se transfere para o substrato; penetração, corresponde ao deslocamento do adesivo para a penetração da parte porosa e estrutura capilar do substrato; solidificação, corresponde a movimentos que abrangem a mudança de estado líquido; umedecimento, recobre a estrutura submicroscópica do substrato com a movimentação do adesivo, proporcionando maior proximidade e contato molecular (BOM, 2008).

Algumas características da madeira afetam de forma direta a adesão e a colagem, sendo elas: variabilidade, as maiores variações acontecem entre espécies, onde umas apresentam maior facilidade de colagem do que as outras; densidade, onde as colagens de madeira com densidade mais alta possui maior rapidez em sua degradação em relação às de baixa densidade, permeabilidade e a porosidade; o tamanho, os poros na estrutura da madeira, a disposição e a frequência de cavidades celulares, afetam a penetração do adesivo; o conteúdo de umidade, a

madeira deve ser previamente seca até ficar com os teores de umidade entre 5 a 20% na colagem dos adesivos sintéticos à base de ureia, melamina, resorcinol e fenol, pois teores de umidade elevados podem acarretar bolhas; e por fim, a capacidade tampão e pH, onde os mesmo influenciam diretamente na cura e na solidificação do adesivo (CAMPOS; LAHR, 2004).

3.5.11 Adesivos

Segundo Cloutier (1998 apud França 2015), as principais resinas que são usadas no processo para a fabricação de painéis de madeira são a ureia-formaldeído (UF), a melamina-formaldeído (MF), o fenol-formaldeído (FF) e o difenil metano di-isocianato (MDI). As indústrias de produção de chapas de madeira utilizam normalmente a resina à base de ureia-formaldeído devido seu baixo custo, rápida reação em prensa quente e facilidade de manuseio.

Segundo Roffael e Schneider (1983 apud FRANÇA, 2015), 90% dos painéis de madeira fabricados em todo o mundo usam este tipo de resina. Na fabricação do MDF as resinas existentes na madeira não são suficientes para agregar as fibras, por isso é adicionado um elemento ligante. O adesivo umedece as fibras, escoar de modo controlado durante a prensagem e adquirir forma sólida. Adesivos à base de ureia-formaldeído são desenvolvidos com temperatura de cura de aproximadamente 20°C. Trata-se de um adesivo de coloração clara e possui uma desvantagem que é a liberação de formaldeído na prensagem a quente, por ser um produto altamente tóxico. Já o adesivo à base de melamina-formaldeído possui uma temperatura de cura a quente entre 115 a 160°C, onde o formaldeído é emitido pelo excesso de liberação do mesmo pelos adesivos. Esta resina possui um custo mais elevado do que a resina de uréia-formaldeído, porém as duas resinas possuem as reações de condensação iguais (BOM, 2008).

3.5.12 Formação de Colchão

O colchão possui superfícies que são as fronteiras inferior e superior, onde a inferior é bem semelhante a superior, com isso, considera-se a simetria na direção da espessura. A superfície terá um formato de tapete rolante, logo, suas variações seguem as variações de forma do tapete rolante. Essas variações são especificadas e estão relacionadas com a deformação do colchão na prensa. As superfícies do colchão são fechadas à transferência de massa em contato com o tapete rolante. O topo do colchão é aberto à transferência de calor e massa com o ar ambiente (PEREIRA, 2002).

As principais vantagens de obter colchão com teor de umidade mais baixo são: melhor resistência à tração, perfil de densidade uniforme e tempo de prensagem menor. Já as principais desvantagens são: menor índice de transferência de calor para o núcleo do colchão, elevada aptidão para absorção de água, elevado inchamento e faces rugosas devido à plastificação das fibras reduzidas (BOM, 2008).

As fibras são conduzidas por uma esteira mais elevada do processo, que caem em cima de outra esteira móvel horizontal, onde são levadas para uma nova esteira inclinada e equipada com pinos e sarrafos que foram projetados para impedir grandes massas de fibras para o rolo espanador. Na seção de formação dos colchões, é necessário que haja uma ponte de ar com uma seção transversal tipo cunha, para que ocorra uma pressão de sucção de ar negativa, que influenciará na queda livre e na compactação das fibras do sistema de condensador. Essa sucção é combinada com a rotação para frente dos condensadores que auxilia no movimento da superfície, para que as fibras formadas nos colchões se desloquem para frente na ponte de ar (BOM, 2008).

3.5.13 Cilindros Formadores

O colchão de fibras de madeira e resina é pressionado entre dois tapetes rolantes. A cura da resina na prensa e a densificação do colchão ocorre através da aplicação de uma força ao colchão em movimento e fornecimento de calor. As forças de compressão são realizadas por ação dos pratos. A resistência significativa à transferência de calor para o colchão é composta por pratos quentes e rolamentos que estão entre os tapetes de aço (PEREIRA, 2002).

Cada cilindro formador gera um colchão com arranjo entrelaçado de fibras com uma camada simples. O colchão formado é levado até a linha de prensagem através de uma esteira transportadora. Os formadores têm capacidade de acomodar até 150 toneladas de colchão por dia, com uma largura máxima de 2,54 m. Para a formação de colchão grosso pode ser usado mais de um cilindro formador constituído em série, criando uma laminação múltipla de colchões finos (BOM, 2008).

3.5.14 Corte das Chapas

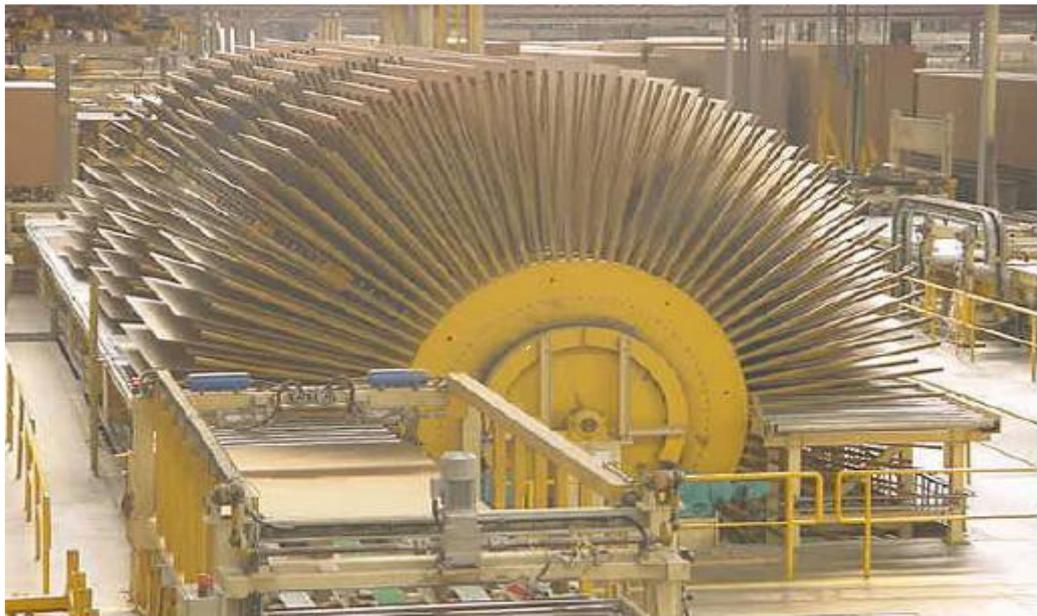
Ocorre a remoção do refile (corte final e rente dado nas laterais de um impresso para dar corretamente o formato final) das chapas, proporcionando o acabamento das bordas, além de determinar a dimensão final da chapa, largura e comprimento (BOM, 2008).

Na saída da prensa é efetuado um corte transversal das chapas, tendo a serra movimento de avanço em diagonal em relação à velocidade de saída da chapa, permitindo assim uma operação de corte contínuo. Por fim, as chapas são levadas para o resfriamento (DURATEX, 2009).

3.5.15 Resfriamento e Climatização

Após o corte, as chapas de MDF são direcionadas aos acumuladores giratórios (magazines) que tem por finalidade a redução da espessura do substrato, com o intuito de que as reações residuais da resina ureia-formaldeído usadas em sua fabricação se concluam, permitindo sua estabilidade ideal. Para que isso aconteça, as chapas precisam ser acondicionadas por um período de 24 até 72 horas (DURATEX, 2009). A figura 6 mostra um resfriador do tipo estrela.

Figura 6. Resfriador Estrela.



Fonte: BOM, 2008.

Geralmente, as chapas passam por um resfriamento à temperatura ambiente, com a finalidade de evitar variações dimensionais na chapa, onde o tipo de linha de formação pode influenciar no tempo (CAMPOS, 2003). O principal objetivo da climatização está em conseguir o aspecto de estabilidade dimensional e a cura de resina que acontece com o endurecimento da

chapa de fibra após o processo. Podendo ter uma duração em média de 72 horas de descanso, isto é, dependendo de cada tipo de linha e de formação da chapa de MDF (BOM, 2008).

3.5.16 Tipos de MDF

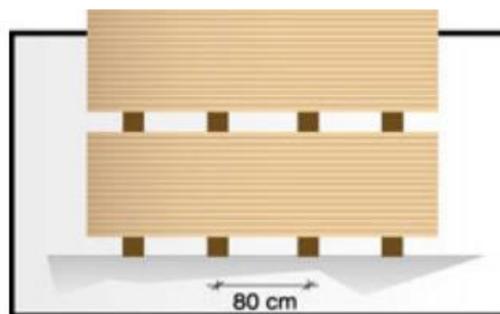
As chapas de MDF possuem características diferentes, onde podem-se encontrar além das chapas “*standard*”, as chapas resistentes ao fogo (FR), resistentes a umidade (MR), de maior resistência à flexão ou impacto (HD), entre outros. As chapas possuem espessuras que podem variar de 3 mm até 60 mm, onde as mais grossas podem ser utilizadas em decorações de móveis e arquiteturas (BRUNO, 2007).

O MDF possui três tipos de acabamentos para serem disponibilizados no mercado, as chapas com revestimento com laminado de baixa pressão, composta por resina melamínica, são fundidas ao MDF por meio de pressão e temperatura; as chapas *in natura* (sem revestimento), onde o MDF proporciona um revestimento de policloreto de vinila (PVC), laminado plástico, entre outros; e as chapas com revestimento *finish foil*, que possui uma folha de papel especial com resina melamínica que resulta em produto finalizado e pronto para comercialização (TEIXEIRA, 2010).

3.5.17 Armazenamento de painéis

Estes painéis devem estar sobre suportes (*pallets*) de igual bitola (forma fixa ou dimensão convencional de certo materiais), distantes do solo, com uma distância máxima de 80 cm entre eles (Figura 7). Quando se é armazenado uma pilha de painéis sobre a outra, deve ser considerada a posição dos separadores, onde devem estar posicionados verticalmente (BOM, 2008).

Figura 7. Armazenamento correto das chapas.



Fonte: BOM, 2008.

3.6 Produção dos painéis de madeira no Brasil

O Brasil é destaque mundial na fabricação de painéis de madeira reconstituída a partir de árvores plantadas, é um fato que se deve aos investimentos contínuos em tecnologia e automação das empresas e processos produtivos, além das melhores práticas e operações florestais. Ao final de 2014, a área total de árvores plantadas no Brasil era de 7,74 milhões de hectares, sendo que 6,8% desse total pertencem ao segmento de painéis de madeira (PAULA, 2016).

A empresa Duratex S.A localizada no estado de São Paulo, na cidade de Agudos, foi a primeira indústria do Brasil a implantar uma planta industrial instalada para a fabricação de MDF, onde seu funcionamento iniciou-se em setembro de 1997 (CAMPOS, 2003).

Segundo Elizabeth de Carvalhaes, presidente executiva da Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017), no ano de 2015 as vendas de painéis de madeira das associadas da Iba registraram recuo de 11,3% em relação ao ano de 2014 (em m³), devido aos impactos da menor atividade no setor de construção civil em consequência da instabilidade econômica. Se a venda de imóveis não cresce, a comercialização de móveis cai (PAULA, 2016).

Em Minas Gerais, destaca-se a Duratex, fabricante de painéis de madeira que anunciou um investimento de R\$ 1,3 bilhões para a construção da maior unidade de painéis industrializados da América Latina. A Duratex, localizada no triângulo mineiro, possui duas linhas de produção, MDP e MDF, que juntos somam uma capacidade de 1,4 milhões de metros cúbicos por ano. Esta unidade expandirá sua capacidade para 5,6 milhões de metros cúbicos ao ano, que representa um crescimento de 34%. Segundo a Duratex, trata-se de um investimento necessário para atender o mercado a partir do ano de 2017 (MOREIRA, 2014).

Os investimentos dessas empresas ganham destaque no setor e na mídia devido ao impacto que representará no setor da Indústria Moveleira no país e à dimensão da expansão de mercado. Desse modo é importante destacar uma notícia importante no mercado de MDF no Brasil: A Duratex completou a entrada em plena operação das ampliações e as atualizações tecnológicas realizadas nos últimos anos. A empresa ampliou a produção de chapas MDF, HDF e SDF na unidade de Botucatu e conta com uma capacidade disponível, nessa nova linha de produção, de 400 mil m³ anuais (MAPA, 2007).

Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007), as principais características no setor no Brasil são:

- A estrutura produtiva é composta por poucas empresas: Duratex, Eucatex, Bernek, Eucatex, Massica do Brasil, Placas do Paraná, Satipel Industrial e Tafisa do Brasil.

- Nos últimos anos, o crescimento do mercado doméstico, tem estimulado as empresas a realizarem investimentos significativos. Foram realizados vários projetos de ampliação da capacidade instalada e de construção de novas fabricas de MDF.

O comércio mundial de produção de MDF atinge cerca de US\$ 4 bilhões, um volume de 14 milhões de metros cúbicos, correspondendo a 34% do consumo mundial total. As principais regiões exportadoras são a Europa e a América Latina, enquanto que os Estados Unidos, o Canadá e a Ásia são maiores regiões importadoras. A China é o país de maior importação, o qual adquiriu 1,6 milhões de metros cúbicos de MDF por ano (BNDES, 2008).

Em 2016 estudos apontam que as exportações atingiram 641 mil metro cúbicos, alta de 52,3% em relação a 2014. O crescimento de 52% foi direcionado principalmente para países da América Latina. A região teve crescimento de 55%, passando de US\$ 80 milhões em 2014 para US\$ 124 milhões em 2015. Na América do Norte, obteve um aumento de 34%, passando de US\$ 32 milhões para US\$ 43 milhões em 2015 (SILVA, 2016).

As maiores contribuições foram os mercados da Ásia, exceto China e da Oceania, que promoveram um aumento da receita de US\$ 6 milhões para US\$ 18 milhões. Em seguida, aparece a América do Norte que subiu em 25% de US\$ 31 milhões para US\$ 39 milhões e a América Latina que cresceu 6% e elevou de US\$ 78 milhões para US\$ 83 milhões, respondendo por 53% do total comercializado (SILVA, 2016).

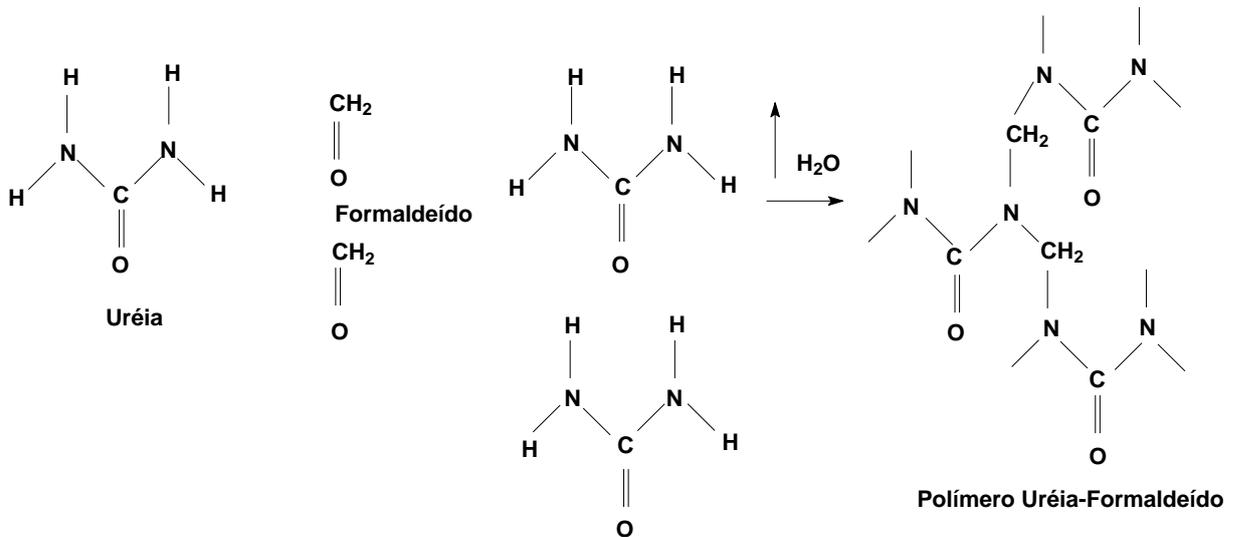
3.7 Resinas utilizadas no processo de fabricação

3.7.1 Resina à base de Ureia-formaldeído

O formaldeído está relacionado como um carcinógeno humano nasal, que pode originar câncer de nasofaringe e do seio e está relacionado à leucemia (ABBOTT et al., 2012). Muitos produtos de consumo que contém resinas à base de formaldeído emitem um vapor que podem desencadear sintomas, sendo o mais comum a irritação dos olhos e do trato respiratório superior, um exemplo desses produtos são os materiais de construção, onde os mesmos são uma importante fonte de formaldeído no ambiente interno (KIM e KIM, 2005).

A Figura 8 mostra a reação da ureia com o formaldeído para a formação da resina ureia-formaldeído.

Figura 8. Reação da ureia e formaldeído para a formação da resina ureia-formaldeído.



Fonte: SÓSTONES, A.; LISBOA, R.; MICAELLE, S.; ARAÚJO, S., 2010.

3.7.2 Adesivo à base de amido de batata

O adesivo à base de amido a partir de fontes naturais, incluindo as batatas, é uma nova resina que faz com que seja evitado o uso de ureia-formaldeído. Desta forma, há uma menor preocupação com os fatores associados de risco (ABBOTT, 2013).

Os materiais que são à base de amido estão reduzindo seu impacto ambiental na construção a um curto prazo. A maioria dos países do mundo possuem fontes locais de resíduos de amido e fibras de resíduos, e devido a isto, as placas à base de amido possuem grande potencial para ser usados mundialmente (ABBOTT; CONDE; DAVIS; WISE, 2012).

3.8 Amido de milho

O amido de milho é responsável por cerca de 80% do mercado mundial de amidos e a maior produção encontra-se no Estados Unidos (JOBILING, 2004). Mundialmente, são produzidos aproximadamente 48,5 milhões de toneladas de amido, sendo os Estados Unidos o maior produtor de amido de milho que representa cerca de 62,4% da produção, ou seja, 24,6 milhões de toneladas. A União Européia é a maior produtora de amido da batata com 69,2% de produção, cerca de 1,8 milhões de toneladas e de trigo com 2,8 milhões de toneladas que representa 68,3%. (FRANCO et al., 2001).

O amido é o produto extraído das partes aéreas dos vegetais (sementes) e fécula, e é obtido da extração das partes subterrâneas comestíveis dos vegetais que são as raízes, rizomas e tubérculos (BILIADERIS, 1991).

Trata-se de uma matéria-prima renovável, não tóxica e biodegradável. Sua quantidade que está disponível é o suficiente e os processos industriais permitem que seja extraído com pureza elevada (VAM DER BURGT et al, 2000). Normalmente apresenta-se na forma de grânulos com tamanho e forma dependentes da sua fonte botânica, e denomina-se nativo quando é extraído sem alteração. Neste caso, o amido é insolúvel em água fria, e apresenta grânulos parcialmente cristalinos e além da morfologia, a estrutura molecular e a composição química são também características de cada espécie em particular (BELLO-PÉREZ; MONTEALVO; ACEVEDO, 2006).

O amido é um hidrocolóide (polímeros de carboidratos formado por mais de um tipo de monossacarídeo) alimentício frequentemente usado, devido à sua ampla faixa de propriedades funcionais que ele pode promover e devido ao seu custo baixo, possui ampla aplicação em vários setores como a indústria têxtil, farmacêutica, de papel, plástica, siderúrgica e alimentícia. O amido é o principal responsável pelas propriedades tecnológicas que confere características à grande parte dos produtos processados, possuindo aplicações industriais como estabilizador de coloides, agente gelificante, espessante, adesivo, retenção de água, dentre outros (SINGH et al., 2003).

O processo de moagem do amido de milho pode ocorrer por meio de moagem seca e moagem úmida. A moagem úmida, utiliza-se água para auxiliar na separação de suas partes (película, gérmen, proteína e amido). Já a moagem seca não se usa água. O grão limpo e seco passa por uma série de moinhos e peneiras, gerando o produto desejado (LOPES et al., 2006).

O teor de amido no milho varia de 68% a 74%, enquanto o teor de amilose nos grânulos de amido encontra-se, geralmente, nos intervalos entre 20 e 30% em amidos normais de cereais (REDDY e SEIB, 2000).

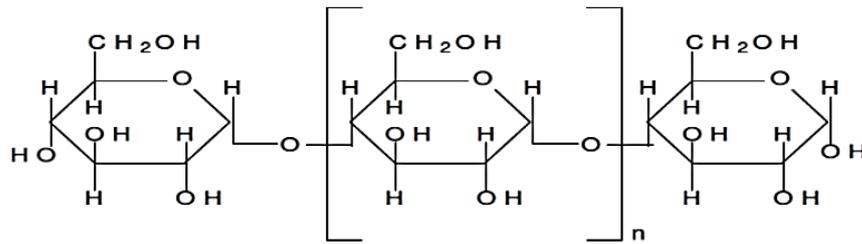
O grânulo do amido de milho tem em média cerca de 20 µm de diâmetro e sua forma pode variar desde a poliédrica até a quase esférica. Os grânulos de amido das células próximas ao exterior do grânulo tendem a ser poliédricos mantendo-se unidos uns aos outros por uma matriz protéica constituindo o endosperma vítreo. As células do interior do grânulo, endosperma opaco, tendem a ser esféricas (HOSENEY, 1991).

O grânulo de amido é constituído de dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina que estão diretamente ligadas entre si por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das

unidades de glicose unidas entre si por ligações glicosídicas, formando as áreas cristalinas radialmente orientadas (ALVES, 2009).

A molécula do amido (Figura 9) mostra dois grupos funcionais importantes, sendo o grupo hidroxila (-OH) que é apto a reações de substituição, e a ligação glicosídica (α -1,4) C-O-C, apto à quebra de cadeia (SCHLEMMER et al., 2010).

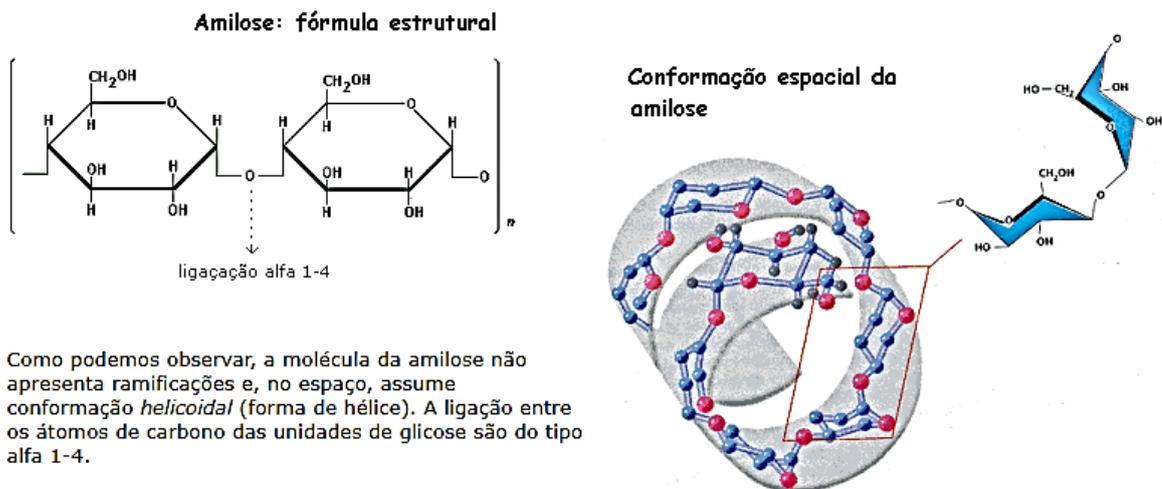
Figura 9. Estrutura do amido.



Fonte: SCHLEMMER et al., 2010.

A amilose é formada por moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas α 1-4, que lhe proporcionam a conformação helicoidal linear (Figura 10), sendo que o teor de amilose, na maioria dos amidos varia de 20 a 30%. A amilopectina (Figura 11) é um polímero de maior peso molecular, em que as moléculas de glicose estão unidas por ligações α 1-4 e α 1-6, proporcionando uma configuração espacial ramificada (CEREDA, 1996).

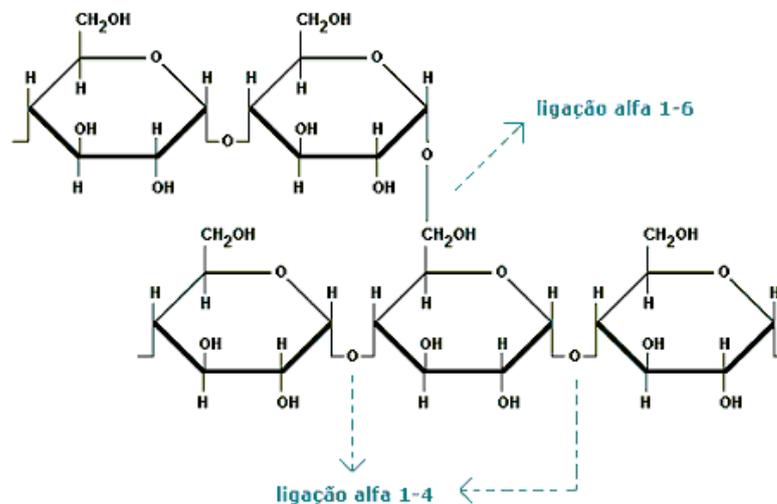
Figura 10. Estrutura da Amilose.



Fonte: SOUZA, 2012.

A amilopectina tem um papel importante na cristalinidade dos grânulos de amido. Tem sido relatadas altas temperaturas de gelatinização como resultantes do alto grau de cristalinidade, que fornece maior resistência a gelatinização e estabilidade estrutural aos grânulos. A presença de amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia para iniciar a gelatinização, pois as cadeias longas de amilopectina demandam uma temperatura maior para dissociar completamente, do que aquela requerida para cadeias mais curtas das duplas hélices de amilose. Amidos com elevados conteúdos de amilose têm região amorfa maior, e perdem cristalinidade em temperaturas menores de gelatinização (SINGH et al., 2003).

Figura 11. Estrutura da Amilopectina.



Fonte: SOUZA, 2012.

Acredita-se que a amilose esteja localizada entre as cadeias da amilopectina e aleatoriamente entremeada entre as regiões amorfas e cristalinas. As moléculas maiores de amilose estão no centro do grânulo e, provavelmente, participam das duplas hélices com a amilopectina, já as moléculas menores presentes na periferia podem ser lixiviadas para fora do grânulo. Apesar de seu limitado papel na formação de cristais, a amilose pode influenciar a organização das duplas hélices, interferindo na densidade de empacotamento das cadeias de amilopectina (TESTER et al., 2004). Nessas áreas cristalinas, existem regiões amorfas, nas quais as moléculas não têm orientação particular. Na região amorfa, as moléculas são menos fechadas o que permite a entrada de água para a formação de ligações de hidrogênio com os grupos hidroxilas livres das moléculas de amido. As áreas cristalinas mantêm a estrutura do grânulo e participam do comportamento do amido na água. Por esse motivo é que o grânulo de

amido nativo exibe uma capacidade limitada de absorção da água, embora seja constituído de polímeros solúveis ou parcialmente solúveis neste líquido (ALVES, 2009).

O objetivo do próximo capítulo é descrever os procedimentos adotados para a produção de painéis de MDF, onde os mesmos foram produzidos no laboratório da Universidade de Uberaba - UNIUBE. O capítulo cujo título é Materiais e Métodos, é subdividido nas seguintes seções: Matéria-prima e Materiais, Equipamentos, Produção de painéis em escala laboratorial e Teste físico-mecânico.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os equipamentos e os materiais que foram utilizados para a produção da chapa de MDF experimental foram disponibilizados pela Universidade de Uberaba, Campus Aeroporto/UNIUBE.

4.1 Matéria-prima e Materiais

Para o estudo deste trabalho foram utilizadas fibras de madeira para a produção da chapa de MDF e os materiais utilizados no processo de produção da chapa de MDF são:

- Amido de milho comercializado, produzido a partir de milho transgênico;
- Óleo vegetal para untar a prensa manual.
- Bandeja de alumínio 150 x 300 mm;
- Béqueres de 600 mL para preparo da solução de amido de milho;
- Barra magnética (5 x 15 mm) para homogeneizar a solução;
- Termômetro (0 a 100°C) para controle de temperatura;
- Dessecador com uso de dessecante sílica gel;
- Proveta de 100 mL;
- Bastão de polietileno,
- Espátula;
- Lixa flap disco 115 x 22 mm de acabamento de superfície.

4.1.1 Equipamentos

Chapa de aquecimento com agitação

Equipamento cuja marca é Corning, modelo PC 420, possui controle de discagem de agitação e calor, possui uma luz indicadora para alimentação e plataforma de 150 x 190 mm.

pHmetro Digital

Equipamento cuja a marca é MS TecnoPON mPA-210, é um instrumento usado em laboratório, preciso, rápido, de fácil calibração e compacto, que combina a possibilidade de medição de pH, Oxidation Reduction Potencial (ORP) e temperatura de uma amostra.

Viscosímetro Analógico Brookfield

O viscosímetro possui configurações especiais para medir a viscosidade de diferentes materiais tais como: amido, chocolate, asfalto, produtos de higiene, produtos farmacêuticos e produtos de limpeza. Texturômetros microprocessados e automáticos, com tração e compressão, com capacidade de carga de 100g à 50Kg, para produtos industriais (Figura 12).

Figura 12: Viscosímetro de Brookfield.



Fonte: SILVA, 2016.

Estufa de esterilização e secagem

Estufa da marca Fanem, modelo Orion 515 de esterilização e secagem por convecção natural, opção com termostato hidráulico ou controle microprocessador, temperatura de 50°C à 250°C com capacidade volumétrica de 150 litros.

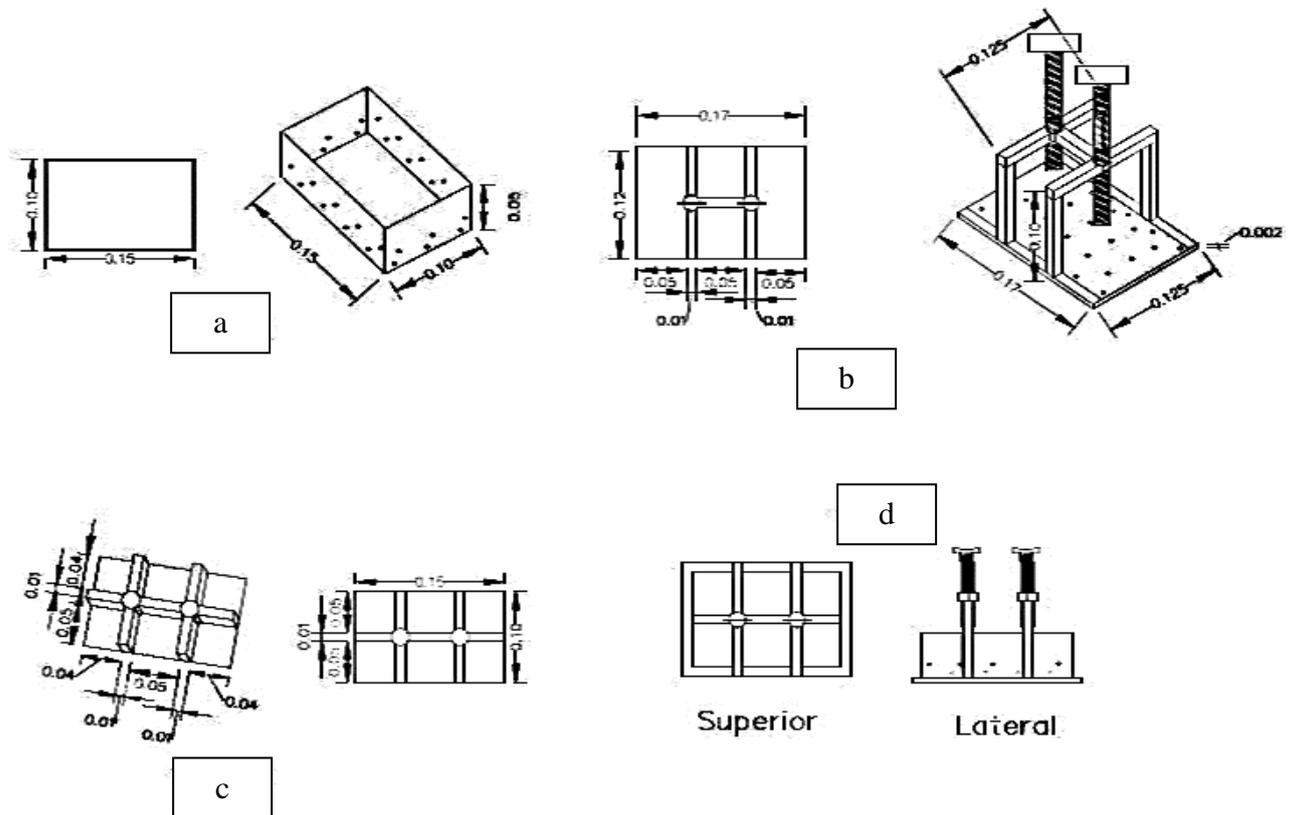
Balança Semianalítica Eletrônica Digital

Equipamento de marca Gehaka, modelo BG-4000 com sistema de calibração interna (CI) que garante a precisão e facilidade operacional, possibilitando que o próprio usuário ajuste a balança sempre que for necessário.

Prensa manual de aço inoxidável

Projetou-se e confeccionou-se uma prensa manual em aço inoxidável para elaboração do “corpo de prova”. A prensa é formada por uma chapa perfurada com 25 furos de 2,5mm de diâmetro com dimensões de 165 x 105 x 2mm de superfície plana móvel na parte inferior. Uma chapa lisa com dimensões de 145 x 100 x 1,2mm de superfície plana móvel na parte superior, uma caixa perfurada com 30 furos de 2 mm de diâmetro com dimensões de 150 x 100 x 50 mm e espessura da chapa de 1,2 mm. A pressão exercida na formação dos painéis é efetuada com dois parafusos de 12 mm conectado a prensa com seguimentos tipo borboletas. O equipamento permite a confecção de painéis com espessura até 40mm. A Figura 13 mostra o projeto da prensa.

Figura 13: Projeto da prensa: (a) forma; (b) base; (c) tampa e; (d) vistas.



Fonte: SILVA, 2016.

A Figura 14 mostra o protótipo da prensa.

Figura 14. Protótipo da prensa.

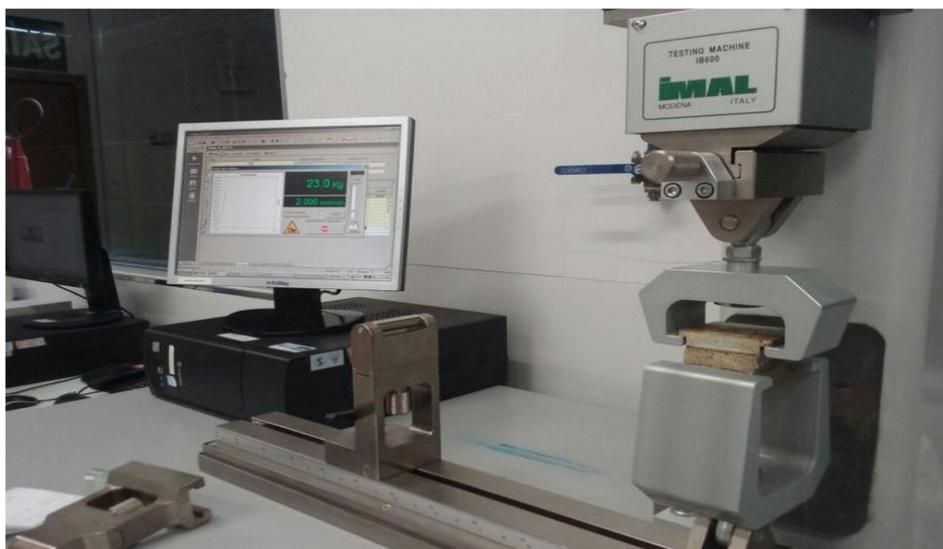


Fonte: SILVA, 2016.

Dinamômetro

Utilizou-se um dinamômetro cuja marca é Imal Modena Italy, modelo Testing Machine IB600 projetado para teste de qualidade e das características mecânicas dos painéis de madeira aglomerado, MDF, MDP e OSB e processamento de resultados obtidos. Combina simplicidade de uso com seguros e confiáveis de operação graças a um microprocessador que controla o processo de medição de dados e gerenciamento de arquivos (Figura 15).

Figura 15: Dinamômetro.



Fonte: SILVA, 2016.

4.2 Produção de painéis em escala laboratorial

Este processo de produção da chapa de MDF foi realizado no laboratório da Universidade de Uberaba, Campus Aeroporto/Uniube.

4.2.1 Preparação do Amido de milho como material de adesão

Para preparar o amido para a produção do painel, foram utilizados dois béqueres, onde foram pesados 450 gramas de água destilada em cada, totalizando 900 gramas de água, de modo a facilitar a agitação e diluição do amido. Em seguida, os mesmos foram levados para a chapa de aquecimento com agitação para aquecer a água de 65°C à 77°C, sendo esta a faixa de temperatura ideal na qual o amido de milho é gelatinizado e perde toda sua cristalinidade (Tabela 1).

Tabela 1. Temperatura de pico e entalpia de gelatinização (T_{p1} e ΔH_1) e retrogradação (T_{p2} e ΔH_2) de suspensões de amido de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose.

Amostras	Gelatinização		Retrogradação	
	T_{p1} (°C)	ΔH_1 (J.g ⁻¹ de amido)	T_{p2} (°C)	ΔH_2 (J.g ⁻¹ de amido)
M	77,26	88,97	55,86	3,495
AP	75,13	3,34	57,83	2,593
AM	128,05	1075,0	141,06	26,38

AP = amido de milho ceroso (98,2% de amilopectina); M = amido de milho normal (27,8% de amilose); e AM = amido de milho com alto teor de amilose (71% amilose).

Fonte: (Adaptado de WEBER; QUEIROZ; CHANG, 2009).

Em seguida foi pesado 56 gramas de amido de milho para preparar a resina de adesão onde foi adicionado 28 gramas em cada béquer que estavam em aquecimento. Ao estabilizar a temperatura de gelatinização que foi controlado com o auxílio do termômetro, colocou-se nos béqueres uma barra magnética para manter a mistura em agitação e obter total diluição do amido (Quadro 1).

Quadro 1. Propriedades de pasta de amidos de milho (M) e ceroso (AP).

Amidos	TP (°C)	VM95°C (Pa.s)	VF50°C (Pa.s)	Retrogradação (Pa.s)	tp (min)
M	75 ± 0,2	2937 ± 48,05	3153 ± 79,7	1218 ± 60,3	5,03
AP	71 ± 0,4	3950 ± 107,1	2056 ± 100,6	389 ± 85,94	3,47

Em que: TP = temperatura de pasta; VM 95°C = viscosidade máxima a 95°C; VF50°C = viscosidade final a 50°C; e tp = tempo de pico.

Fonte: (Adaptado de WEBER; QUEIROZ; CHANG, 2009).

4.2.2 Preparação das fibras de madeira

Foram depositadas em uma bandeja de alumínio 200 gramas de fibra de madeira com o auxílio da forma para formar um colchão, onde foi colocada a solução de adesão de amido (Figura 16).

Figura 16. Fibras de madeira que receberam a adesão de amido de milho.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.3 Produção da chapa de madeira

Após ser formado colchão de fibras, foi realizada a mistura das soluções de adesão de forma lenta devido à dificuldade da mistura com o auxílio de um bastão de polietileno sobre o mesmo, obtendo uma mistura pronta para ser prensada (Figura 17).

Figura 17. Mistura da fibra de madeira com a resina de adesão.



Fonte: Elaborada pela autora.

Antes de iniciar a prensagem, foi necessário untar com óleo vegetal todas as partes da prensa manual que teriam contato com a mistura para conseguir desenformar a chapa de madeira com mais facilidade. Desta forma, com a prensa já preparada para ser utilizada, acondicionou-se as fibras em caixa formadora manualmente de maneira uniforme em toda extensão da caixa (Figura 18).

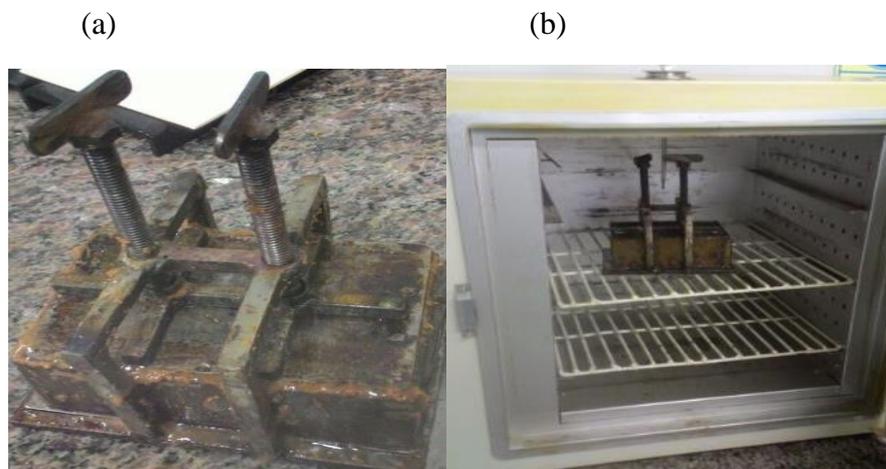
Figura 18. Pré-prensagem.



Fonte: Elaborada pela autora.

Imediatamente, após o acondicionamento da mistura, foi iniciada a pré-prensagem a frio para retirada do excesso de água, e em seguida, foi levada para estufa de secagem à temperatura de 80°C para retirar a umidade da placa de madeira (Figura 19).

Figura 19. Pré-prensagem à frio (a) e Prensagem a quente (b).



Fonte: Elaborada pela autora.

Após 23 horas de secagem inicial procedeu-se a prensagem da placa de MDF e em seguida retornou-se para a estufa em uma temperatura de 110°C. Após 24 horas da primeira prensagem, retirou-se a placa de MDF da prensa manual retornando para a estufa somente a placa de MDF. Por fim, após 24 horas, encerrou-se a etapa de secagem com peso constante (umidade zero) da placa produzida de MDF (Figura 20).

Figura 20. Resfriamento da chapa de MDF.



Fonte: Elaborada pela autora.

Na etapa de acabamento, o corpo de prova de MDF passou pelo processo de lixamento, com intuito de deixar as suas superfícies totalmente plana (Figura 21).

Figura 21. Placa de MDF lixada.



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3 Teste físico-mecânico

Ao finalizar o processo de produção da chapa de MDF, o corpo de prova foi submetido a alguns testes físico-mecânicos utilizando o equipamento Dinamômetro com o intuito de determinar as características por meio dos parâmetros densidade, umidade e inchamento. Os procedimentos experimentais para cada tipo de análise realizada estão descritos na ABNT NBR 15316.

4.3.1 Densidade (d)

A densidade é o quociente da relação entre massa e volume de um corpo de prova. O volume é definido como o produto resultante do comprimento, largura e espessura do corpo de prova. O corpo de prova mede 50 x 50 x 20mm. Os materiais necessários são: balança semi analítica, dinamômetro (Figura 22), paquímetro, serra circular com guia e trena. Procedimento para determinação da densidade, de forma manual e automática.

1. Manual:

- Identificar os corpos de prova
- Medir o comprimento, largura e espessura do corpo de prova e pesá-lo;
- Anotar todas as medidas efetuadas.

2. Máquina de Ensaio Automática:

- Preparar a tela do aparelho de teste Imal, onde serão registrados os resultados de medição dos corpos de prova, digitando os dados referentes ao tipo de material;

Figura 22. Equipamento para determinação da densidade da chapa.



Fonte: SILVA, 2013.

A partir da Equação 1, determina-se a densidade.

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

Sendo:

d = densidade do corpo de prova (g/cm^3)

m = massa do corpo de prova em g.

v = volume do corpo de prova (cm^3)

O resultado é a média aritmética das determinações em g/cm^3 com aproximação de 0,01 g/cm^3 . Para expressar o resultado em kg/m^3 , deve-se multiplicar o resultado das determinações por 1000, neste caso a aproximação é de $1\text{kg}/\text{m}^3$. Esse resultado obtido deve ser comparado com os valores especificados no Quadro 6 dos parâmetros que conferem características de qualidade admissível de modo a orientar a aprovação ou retenção do lote de chapas fabricado. Esse procedimento é baseado na norma NBR 15316-3.

4.3.2 Umidade (U)

É a quantidade de água de um corpo de prova eliminada por secagem à temperatura de $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até atingir massa constante. A análise de teor de umidade tem por objetivo definir a quantidade de água contida num corpo de prova. Para este ensaio, foi medida a massa do mesmo corpo de prova, antes e após a realização do teste. Pela Equação 2 é possível obter o cálculo do teor de umidade.

$$U = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

Na qual:

U = Teor de umidade da chapa base seca (%)

m_i = massa inicial do corpo de prova (g)

m_f = massa final do corpo de prova (g)

4.3.3 Inchamento (I)

Realizou-se o teste para determinação do inchamento, onde foram retirados quatro corpos de prova. Um leve lixamento em cada uma das amostras com a finalidade de retirar as imperfeições geradas no processo do corte de modo a não comprometer os resultados do ensaio. A Equação 3 mostra como determinar a porcentagem do inchamento.

$$I = \frac{(Ef - Ei)}{Ei} \times 100 \quad (3)$$

Na qual:

I = Inchamento de espessura do corpo de prova (%)

Ei = Espessura inicial do corpo de prova (mm)

Ef = Espessura final do corpo de prova (mm)

4.3.4 Resistência à tração perpendicular (Adesão Interna – AI)

É a resistência que um corpo de prova oferece quando submetido a forças de tração de sentido contrário, aplicadas perpendicularmente às suas superfícies. O ensaio de tração perpendicular (Figura 23) tem o objetivo definir a adesão interna em um corpo de prova, conforme especificações da norma. A Equação 4 foi utilizada para o cálculo da adesão interna.

$$AI = \frac{F}{A_{base}} \quad (4)$$

Na qual:

AI = Adesão Interna (kgf/cm²)

F = Força de ruptura (kgf)

Figura 23. Equipamentos utilizados no ensaio de tração perpendicular, baseado na EN 319 (2003).

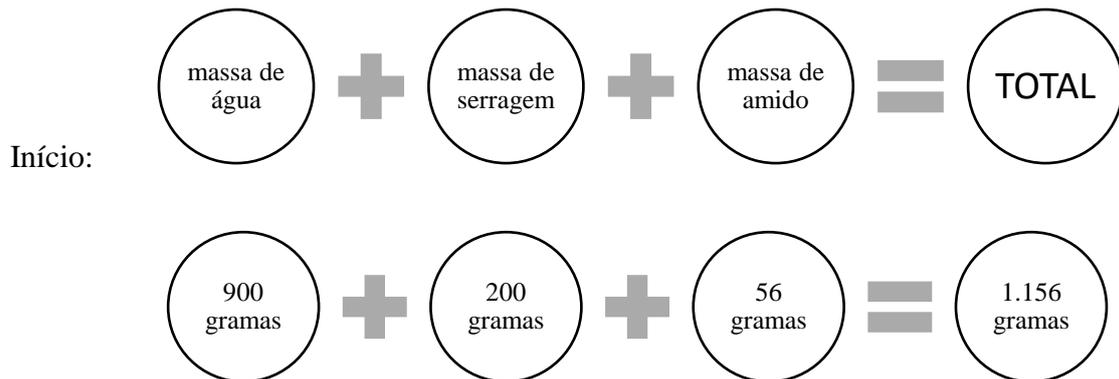


Fonte: CAMPOS; LAHR, 2004.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

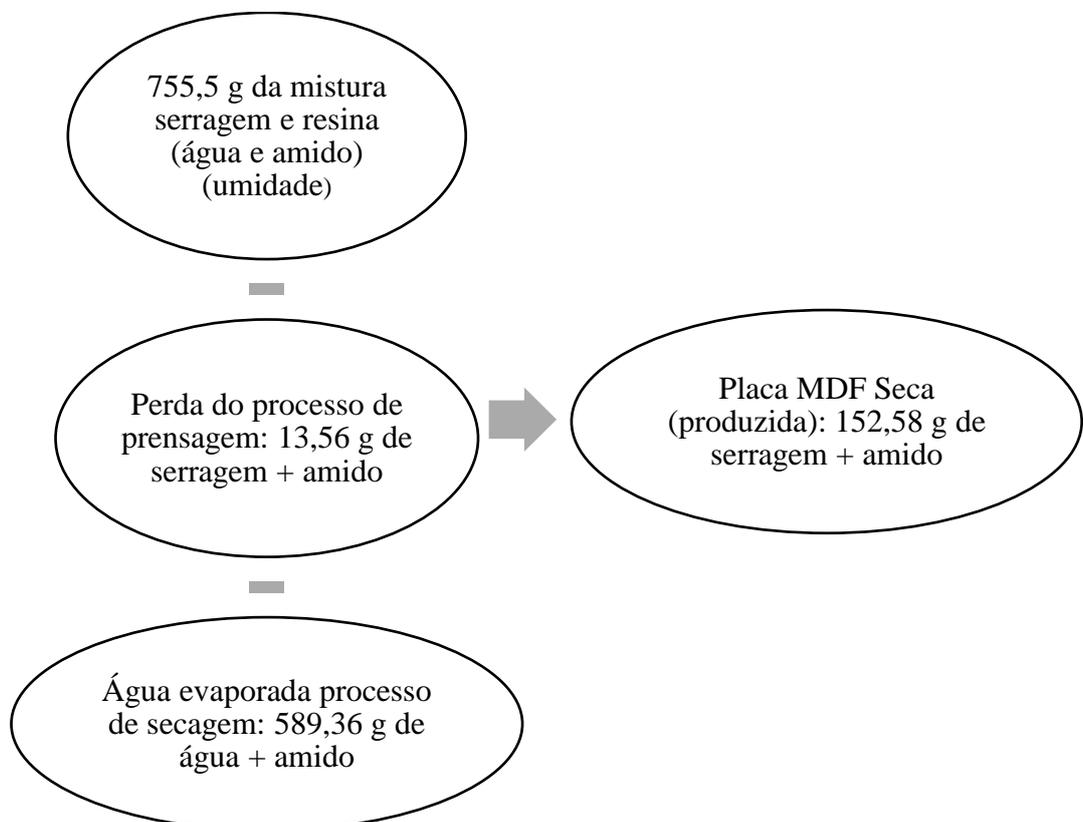
Em linhas gerais, o balanço de massa do processo de produção do corpo de prova é apresentado nos Esquemas 1 e 2.

Esquema 1:



1. Produção:

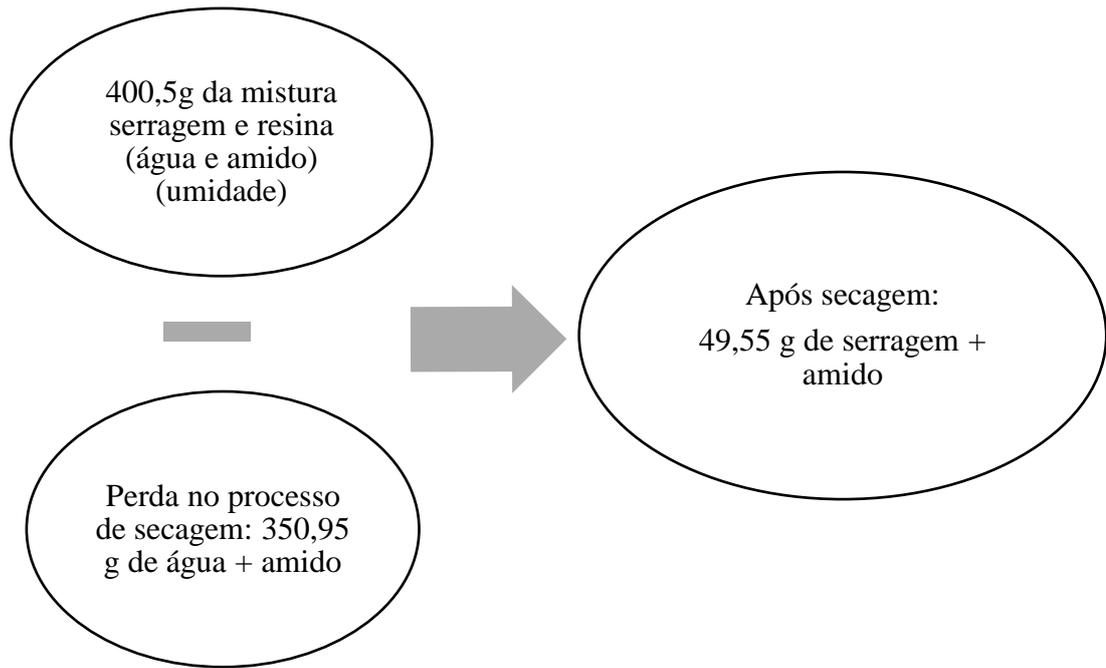
Esquema 2:



2. Secagem da sobra do processo

A sobra do processo foi secada até umidade reduzida para quantificar a massa de serragem que não entrou no processo, conforme apresentado no Esquema 3.

Esquema 3:

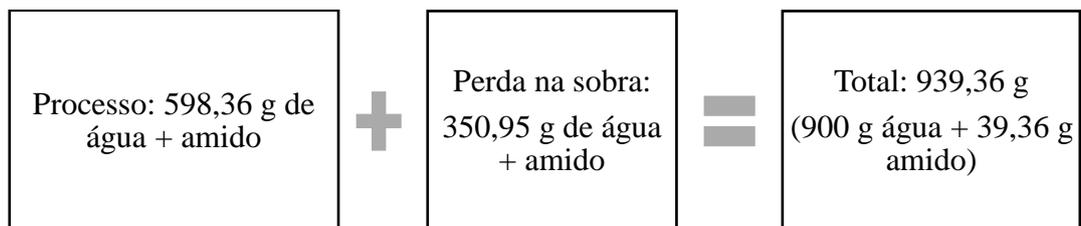


3. Balanço

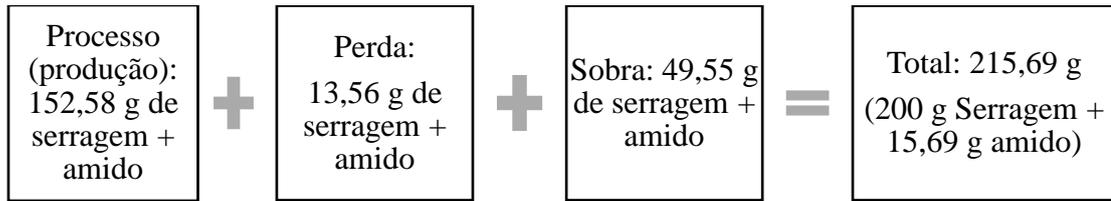
O Esquema 4 apresenta o balanço de massa envolvendo água, serragem e amido.

Esquema 4:

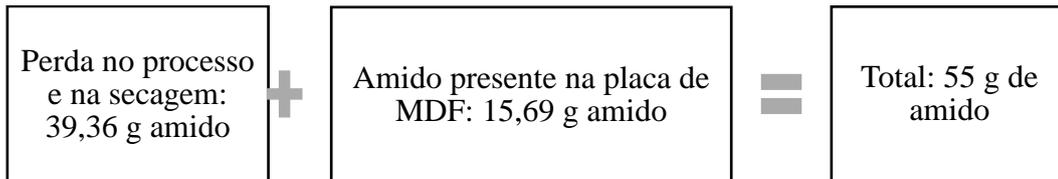
● Água



☉ **Serragem**



☉ **Amido**



Em linhas gerais, para uma mistura de 755,5 gramas de serragem e resina (água e amido) (umidade), ocorreu uma perda na etapa de prensagem de 13,56 gramas (serragem + amido). Assim com a água evaporada na secagem, a massa da mistura diminuiu para 589,36 gramas (água + amido + serragem). No término da secagem a placa de MDF produzida obteve 152,58 gramas (serragem + amido).

Portanto a massa de água pesada no início foi de 900 gramas somada com a massa de serragem de 200 gramas e somada com a massa do amido de 56 gramas obtive-se no total uma massa inicial de 1.156 gramas, que, subtraindo da massa da produção de 755,5 gramas, a placa de “MDF” produzida foi de 400,5 gramas de massa úmida.

A sobra da confecção da placa foi secada até a umidade zero para quantificar a massa de serragem que não entrou no processo. Logo, 400,5 gramas da mistura serragem e resina (água e amido) (umidade), passou pela etapa de secagem perdendo 49,55 gramas da mistura de serragem e amido, resultando então em 350,95 gramas de água e amido. Assim, continuou a etapa de secagem para que a umidade zero fosse quantificada onde foi comentando acima chegando ao valor de final de 152,58 gramas.

Com relação à metodologia usada, foi possível determinar alguns parâmetros essenciais para o tipo de material projetado. Dentre essas análises realizadas, foram determinados os parâmetros característicos do adesivo de amido de milho e da placa de fibra de madeira.

Para a realização dos testes as placas foram cortadas em três partes cada, após deu-se início aos mesmos. As propriedades físicas: absorção de água; teor de umidade, tração perpendicular à superfície do painel e densidade foram avaliadas de acordo com a seguinte norma, NBR 15316-2 : 2015.

Os parâmetros de caracterização do amido de milho, ureia-formaldeído e da melamina-formaldeído, são mostrados no Quadro 2.

Quadro 2. Adesivo de amido de milho.

Variáveis	Unidade	Adesivo de Amido de Milho	Resina Ureia-Formaldeído	Resina Melamina-Formaldeído
Viscosidade (70°C - amido) (25°C – demais)	cP	8.700	40	65
pH (25°C)	-	5,8	7,0	8,5
Densidade (25°C)	g/cm ³	1,005	>1,24	>1,24

Fonte: SILVA, 2013.

O amido de milho sem modificação química, física ou enzimática, se caracteriza pela formação de um gel consistente sendo bastante utilizado em sopas desidratadas e molhos que requerem um aumento de viscosidade quando aquecidos (PARKER; RING, 2001).

Na faixa de temperatura à qual foi aquecido (65-77°C), ocorreu a gelatinização do amido, sendo este processo resultante da quebra de ligações entre a amilose e amilopectina, as quais, sem mantêm unidas por ligações de hidrogênio. (BOURSIER, 1994).

Dessa forma, a etapa de inserção da resina natural ao colchão de serragem formado (Figura 18) possibilitou a formação de novas ligações de hidrogênio com os constituintes lignocelulósicos presentes na serragem e resíduos de MDF utilizados como matéria prima. Este processo ocorreu à medida em que a placa a qual foi aplicada o adesivo, foi prensada. (WEBER; QUEIROZ; CHANG, 2009). Quando ocorre a prensagem com um resfriamento simultâneo do sistema (serragem + resina), observa-se o efeito denominado de retrogradação, no qual, a cristalinidade do amido é retomada, formando novas interações, atuando, dessa forma, a resina como adesivo. A associação das moléculas do amido propicia o desenvolvimento de uma rede tridimensional mantida coesa pelas áreas cristalinas. Esta rede é formada por grânulos de amido parcialmente inchados e componentes do amido em solução. A formação desta rede durante o resfriamento resulta no aparecimento de gel (ALCÁZAR-ALAY; MEIRELES, 2015). Com o tempo, este gel formado tem a tendência de liberar água sendo esta conhecida como sinérese (TOVAR, 2002).

Neste processo, a amilose que corresponde à aproximadamente 37g/100g de amostra de amido, retrograda rapidamente e é responsável pelas mudanças na textura que ocorrem na formação dos géis durante as primeiras horas de resfriamento, enquanto a amilopectina tem influência nas propriedades físicas da pasta após longos períodos (TOVAR, 2002).

Dessa forma, neste processo há um aumento da viscosidade do material, devido à formação das novas ligações de hidrogênio entre o adesivo e o material. De acordo com Oro et al., 2013, pastas com viscosidade final acima de 4000 cP possuem uma tendência à retrogradação. No presente estudo, o valor encontrado 8.700 cP indica a presença de grandes quantidades de grânulos com elevada capacidade de intumescimento na temperatura indicada (70°C) e uma pasta com característica mais amorfa do que cristalina.

Usualmente, em processos industriais, as resinas utilizadas são à base de Uréia-Formaldeído, estando o pH (25°C) em torno de 7,0-8,5 (SILVA, 2013). Nesta pesquisa, foi utilizada uma resina natural à base de amido, logo, pelo fato do amido possuir moléculas de glicose unidas por ligações glicosídicas C-O-C α 1-4 (figura 9), e a presença de hidroxilas presentes no anel, observou-se um valor de 5,8 para este parâmetro, indicando um meio levemente ácido. Este parâmetro deve ser avaliado, pois, poderá ocorrer a hidrólise da mesma, alterando as características das fibras do material o qual receberá a resina. (THOMAS; ATWELL, 1999). Isso ocorre devido à perda nas forças das ligações, e consequente redução das características físico-mecânicas do material. (PARTHASARATHY et al., 2011).

Os valores medidos de densidade para a resina, estão diretamente relacionados com o teor de sólidos (ou teor de não voláteis) de forma que, quanto maior o teor destes compostos presentes, menor a densidade, devido a um aumento do volume. Para as resinas sintéticas, os valores são de ordem $> 1,24 \text{ g/cm}^3$ (SILVA, 2013). Pelo fato de ocorrer a gelatinização do amido, observou-se um aumento do volume do material, ocasionando baixos valores de densidade ($1,005 \text{ g/cm}^3$), valores próximos à densidade da água. Estes valores justificam-se também pelo teor de água presente na resina ($\sim 78 \text{ \% m/m}$).

As especificações de variáveis das características das resinas sintéticas ureia-formaldeído e melamina-formaldeído utilizadas pelas indústrias de produção de MDF. Essas variáveis não possuem critério de aprovação ou reprovação, e seu intuito é apenas um parâmetro de referência.

As análises do adesivo de amido foram realizadas para determinar os parâmetros e as características da matéria-prima de adesão das fibras de madeira. Analisando os resultados desse adesivo pode-se observar que as características são próximas quando comparadas com a resina de ureia-formaldeído que é a resina mais utilizada pelas indústrias de MDF exceto a

análise de viscosidade que teve um valor mais elevado, mostrando que a solução de adesão está com uma concentração de amido alta. Esta característica é necessária, pois facilita a adesão das fibras por ter mais contato com o amido gelatinizado do que com a água da solução (SILVA, 2016). O quadro 3 apresenta os valores de tração perpendicular dos corpos de prova de MDF produzidos.

Quadro 3. Tração Perpendicular do MDF.

Tração MDF								
No.	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)	Densidade (Kg/m ³)	Peso por superfície (Kg/m ²)	Força (Kg)	Tração (Kg/cm ²)
1	50,04	50,45	26,11	26,15	396,72	10,36	109,40	4,33
2	50,36	50,25	25,70	27,00	415,15	10,67	106,80	4,22
3	49,41	49,64	26,69	27,65	422,38	11,27	56,00	2,28
Média (n =3)	49,94 ± 0,48	50,11±0,42	26,17±0,50	26,93±0,75	411,42±13,23	10,77±0,46	90,73±30,11	3,61±1,15

O teste de tração perpendicular é a medida da resistência que um corpo de prova oferece quando é submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície. De acordo com a NBR 15316-2: 2015 a resistência à tração deve ser no mínimo de 0,50 N/mm². Os resultados dos testes realizados no corpo de prova de fibra apresentarem um valor médio de 3,61 kg/cm² ou 0,361 N/mm². Estes valores de tração perpendicular encontram-se abaixo do exigido pela NBR devido a uma não uniformidade na adesão das partículas, granulometria diferente dos constituintes e realização da prensagem à temperatura ambiente. Estes valores podem aumentar com a utilização de um catalisador ou modificação do amido (química, física ou enzimática) (SÁNCHEZ; GARCÍA; VELÁZQUEZ; GUTIERREZ-MERAZ; BELLO, 2005) que deixaria a placa mais dura e rígida aumentando a resistência e também a emulsão no processo de colagem das fibras, pois a emulsão possui efeito impermeabilizante. Porém, não houve tempo hábil para realizar estes testes no presente trabalho.

Observa-se no Quadro 4 que os teores de umidade das partículas encontram-se na faixa normalmente utilizada para a produção de painéis. De acordo com a NBR 15316-2 : 2015, este intervalo varia de 4 a 11% (m/m), logo, os três corpos de prova estão dentro dos padrões estabelecidos pela NBR.

Quadro 4. Teor de Umidade.

No.	Peso (g)	Peso por superfície (Kg/m ²)	Peso seco (Kg)	Umidade (%)
1	21,4	8,58	20,1	6,45
2	23,8	9,54	22,4	6,33
3	26,7	10,7	25,1	6,13
Média (n =3)	24,0± 2,17	9,60± 0,87	22,6±2,04	6,30±0,13

O MDF ao ser deixado em contato com a água, por se tratar de um material higroscópico devido à porosidade e estrutura dos seus principais constituintes, celulose e hemicelulose, lignina, dentre outros (ALCÁZAR; MEIRELES, 2015), constantemente absorve ou perde umidade até atingir um estado de equilíbrio com o ar. Para Foelkel et al, a umidade é um elemento inversamente proporcional à densidade, deste modo, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade de outros elementos químicos presente na madeira-celulose hemicelulose e lignina que, através da diminuição destes, acarretará em densidade menor. Os valores obtidos para os testes de inchamento em espessura são mostrados no Quadro 5.

Quadro 5. Inchamento em espessura.

Inchamento										
No.	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)	Densidade (Kg/m ³)	Peso por superfície (Kg/m ²)	Espessura após 24 h (mm)	Peso 24 h (g)	Inchamento (mm)	Inchamento (%)
1	34,6	26,3	25,9	9,00	381	9,87	27,5	22,7	1,60	6,18
2	49,6	26,2	26,4	12,7	370	9,77	27,8	33,2	1,40	5,30
3	50,5	34,1	25,6	16,2	368	9,43	27,3	42,3	1,70	6,64
Média	44,9±7,3	28,9±3,7	26,0±0,3	12,6±2,9	373±6,0	9,69±0,18	27,5±0,2	32,7±8,0	1,57±0,12	6,04±0,56

De acordo com a Quadro 5, observou-se um valor médio de inchamento após as 24 horas de imersão das placas de MDF, de (6,04±0,56) %, valor este, dentro da faixa estabelecida pela norma, de acordo com a espessura média das placas (26 mm) que é de no máximo, 10%. Este parâmetro é de grande importância, pois, permite a avaliação do uso ou não das placas em ambientes onde a umidade relativa do ar é elevada, sendo que, valores de inchamento acima dos estabelecidos em norma, podem ser minimizados com o uso de catalisadores, os quais, impermeabilizam a superfície da placa, bem como, otimizam a redução do teor de água na resina.

Em trabalho realizado por Weber e Iwakiri, 2015, o qual utilizou resíduos de compensados (MDF e MDP) e resina sintética, apresentou valores médios de 6,42% de inchamento, bem próximo ao valor encontrado para os corpos de prova estudados, mesmo este utilizando uma resina natural, mais suscetível a absorção de água (CAMPOS; LAHR, 2004).

Uma medida relevante na caracterização dos painéis de MDF é a da densidade. Este parâmetro está relacionado à diversos fatores de resistência mecânica do material (CAMPOS; LAHR, 2004); (WEBER; IWAKIRI, 2015). Em geral, colagens feitas em madeiras de densidade mais alta degradam-se mais rapidamente do que as efetuadas em madeiras de mais baixa densidade, diminuindo assim, a sua resistência mecânica e a determinação da densidade de um corpo de prova de MDF ao longo de sua espessura. Dessa forma, observa-se um perfil de densidade ao longo do corpo, podendo este variar. Os perfis de densidades apresentam um valor de densidade média em porcentagem (%). Esse resultado deve ser comparado com o valor especificado no Quadro 6 visando aprovação ou retenção do lote de chapas fabricado. O quadro 6 apresenta as especificações de chapas de MDF de acordo com a sua espessura média.

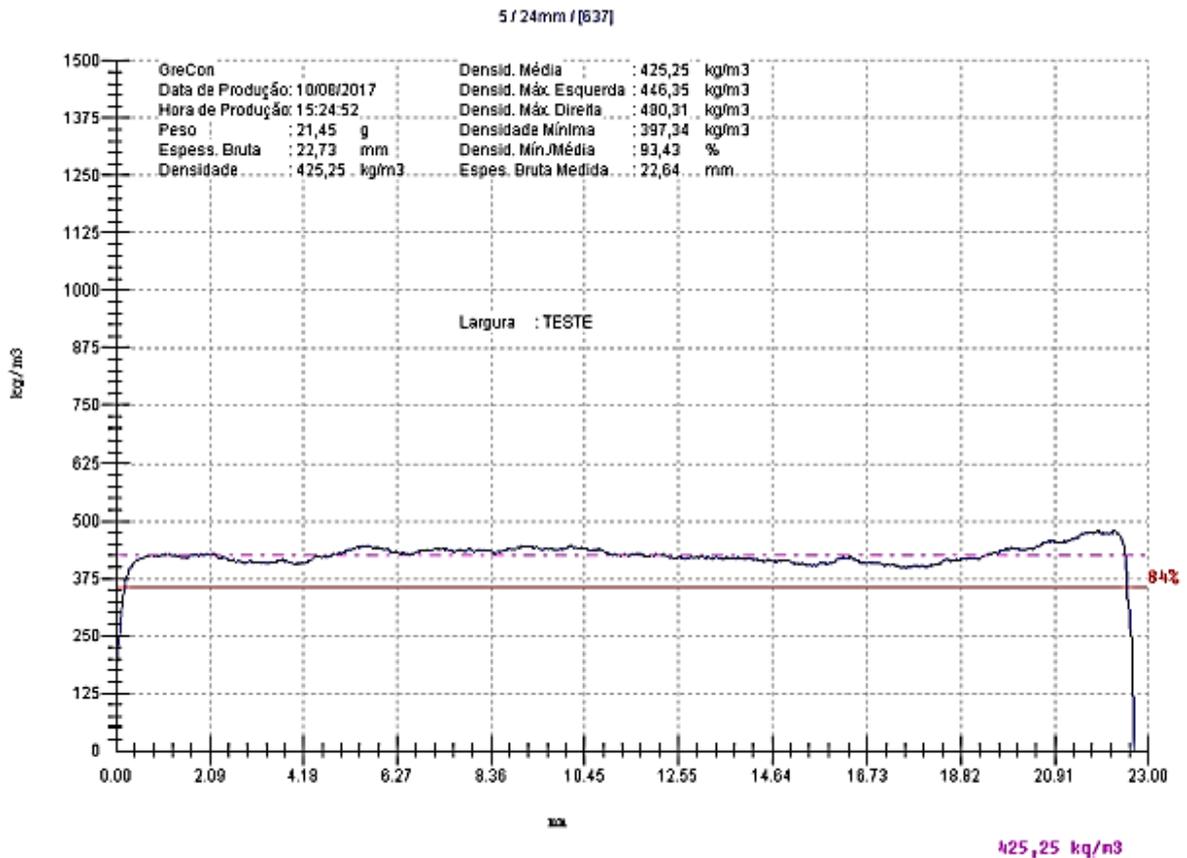
Quadro 6. Especificações de chapas de MDF.

Espessura bruta (mm)	Densidade média (kg/m ³)	Resistência à tração perpendicular (kgf/cm ²)	PERFIL DE DENSIDADE			Resistência a flexão (kgf/cm ²)
			1	2	3	
			%	%	%	
3,5	850 ± 50	6,6	80	80	80	240
6,6	830 ± 30	6,6	80	80	80	240
12,8	700 ± 20	6,1	80	80	80	230
15,8	700 ± 20	5,6	80	80	80	210
18,9	680 ± 20	5,6	80	80	80	210
20,9	670 ± 20	5,6	80	80	80	185
22,9	670 ± 20	5,6	80	80	80	185
26,4	680 ± 20	5,6	80	80	80	185
31,7	670 ± 20	5,6	80	80	80	185
36,7	650 ± 20	5,1	80	80	80	175

Fonte: (Adaptada NBR 15316/2, 2012).

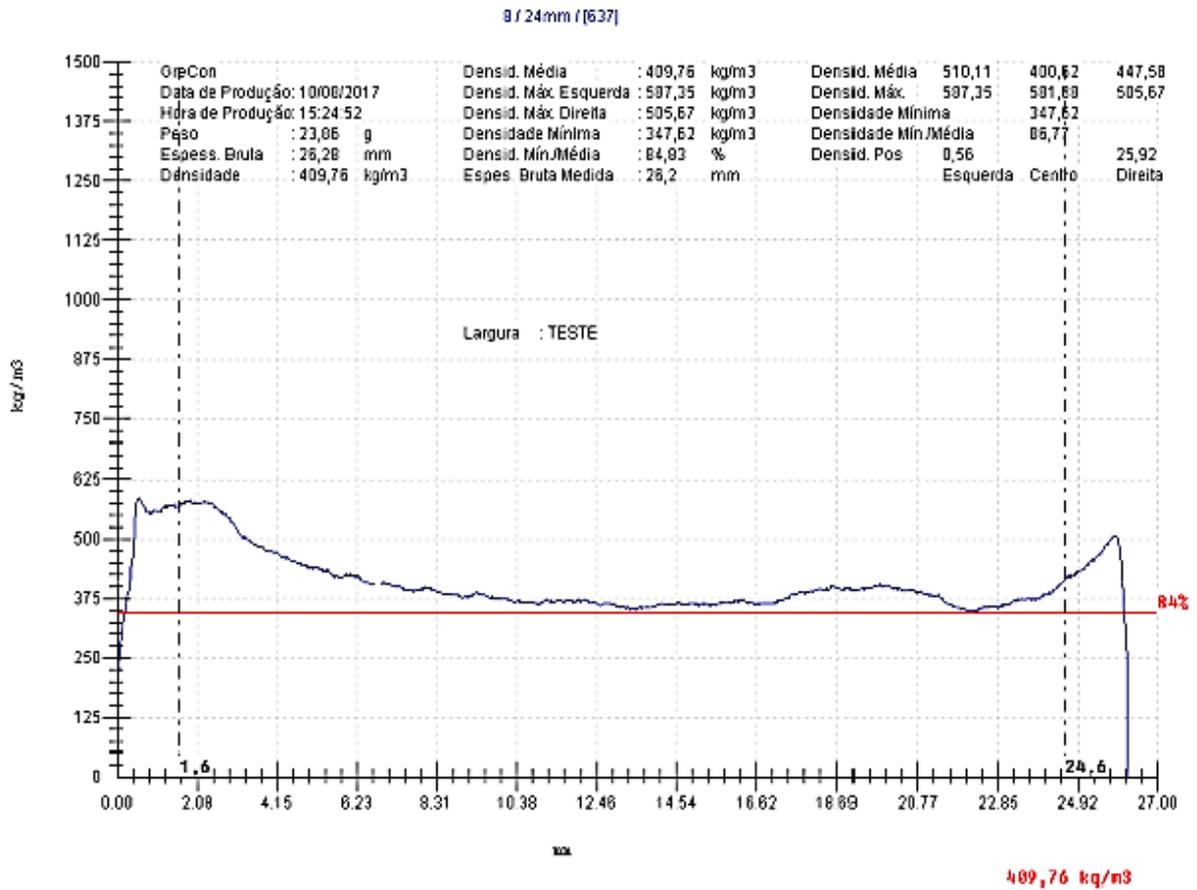
As Figuras 24, 25 e 26, nos apresentam os perfis de densidade dos corpos de prova testados.

Figura 24. Densidade Média – parte 1.



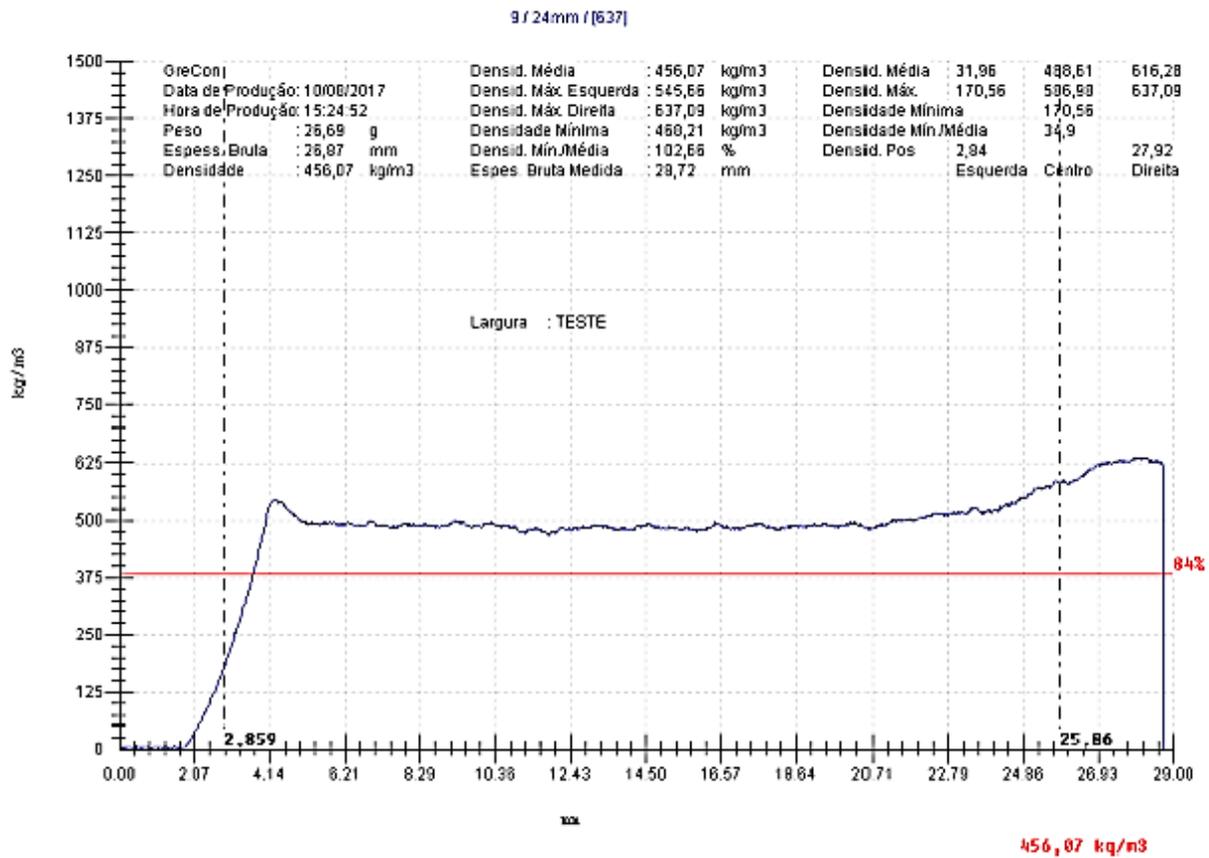
De acordo com o Quadro 6, adaptada da norma NBR 15316/2, 2012 os corpos de prova que apresentam espessura bruta da ordem de 22,9 mm devem apresentar densidade média próxima de 670 kg/m³. No corpo de prova (1) testado, a densidade média encontrada foi da ordem de 425,25 kg/m³. Este valor inferior ao estabelecido em norma justifica-se devido à presença de partículas não dissolvidas no adesivo de colagem, o que acarretou um aumento de volume e consequentemente, uma redução de densidade, sendo ocasionado também devido à perda de água no processo de colagem. Além disso, neste processo, há uma reaproximação das fibras da matéria prima com a cola-adesiva (retrogradação), de forma que, se esta não ocorrer de modo eficaz, ocasionará uma alteração também deste parâmetro. No entanto, analisando o perfil de densidade ao longo do corpo de prova, observa-se valores acima de 84%, sendo estes considerados relativamente bons.

Figura 25. Densidade Média – parte 2.



Nas figuras 25 e 26 observa-se que há uma variação de densidades em relação ao primeiro corpo de prova, sobretudo da densidade inicial e densidade final. No corpo de prova (3), observou uma densidade mínima abaixo do limite mínimo estabelecido devido a placa conter uma pequena parte que carbonizou. Contudo, o restante do perfil mostrou-se normal (acima de 80%). A linha tracejada indicando 84% refere-se à margem mínima estabelecida por normas internas (Duratex ®), sendo esta baseada na norma NBR 15316/2, 2012. Além disso, devido à prensa ser manual, não conseguimos obter uma uniformidade perfeita da placa, por isso ocorreu essa diferença de densidade entre as partes.

Figura 26. Densidade Média – parte 3.



No processo de formação do corpo de prova (colagem) ocorreu a retrogradação do amido, o qual, moléculas de amilose associam-se à unidades de glicose formando uma dupla hélice enquanto as moléculas de amilopectina recristalizam-se através de associação de suas pequenas cadeias (SINGH et al., 2003).

6 CONCLUSÕES

Observou-se que no processo de produção da resina natural, ocorreram os processos de gelatinização e retrogradação, propiciando a eficiência de colagem da resina testada, apesar da viscosidade da mesma encontrar-se em valor elevado. Este resultado é o indicativo de que o amido é um material com perspectivas adequadas para fabricação de painéis utilizando os seus resíduos.

Os testes físicos realizados nos corpos de prova indicaram que o material utilizado (serragem de MDF) em associação com a resina natural produzida, mostrou-se promissor também, pois, os parâmetros relacionados à absorção de água, como, teor de umidade e inchamento em espessura encontraram-se dentro dos limites estabelecidos em norma, e os parâmetros físicos, como tração perpendicular e densidade média, estiveram próximos da mesma, podendo ser melhorados com a utilização de catalisadores, em testes posteriores.

Poderão ser realizados testes com a fabricação de resinas de amido de milho modificados quimicamente com o uso de substância do tipo epóxi, as quais, poderão resultar em melhorias nas propriedades mecânicas dos corpos de prova.

Além disso, poderão ser realizados novos testes de prensagem das placas com pressão controlada utilizando prensas hidráulicas/mecânicas afim de melhorar a interação entre a resina e as fibras.

Como proposta futura pode-se fazer a modificação do amido utilizado um sal quaternário de amônio, com o intuito de melhorar a resistência mecânica do corpo de prova. Além disso, pode-se utilizar um catalisador com o mesmo propósito, como critério de comparação do processo modificado quimicamente. Após esta modificação deve-se realizar novamente as análises afim de avaliar a qualidade da placa desenvolvida, além disso, tem-se o intuito de aprimorar a placa já desenvolvida, haja visto, que algumas propriedades ficaram fora da legislação estabelecida.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, A. **New recyclable MDF could help solve UK waste problem**. University of Leicester, nov, 2013.

ABBOTT, A. P.; CONDE, J. P.; DAVIS, S. J.; WISE, W. R. **Starch as a replacement for urea-formaldehyde in medium density fibreboard**. Set, 2012. Disponível em: <https://correio.usp.br/service/home/~starch-as-a-replacement-for-urea-formaldehyde-in-medium-density-fibreboard.pdf?auth=co&loc=pt_BR&id=32721&part=2>. Acesso em: 16 fev. 2017.

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico**. Ano base 2012. Disponível em: <<http://www.painelflorestal.com.br/>>. Acessado em: 26 jan. 2017.

ALCÁZAR-ALAY, Sylvia Carolina; MEIRELES, Maria Angela Almeida. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology (Campinas)**, v. 35, n. 2, p. 215-236, 2015.

ALINCE, B.; LEBRETON, R.; St-AMOUR, S. Using cationic starch in filled papers. **Tappi Journal**, New York, v. 73. n. 3, p. 191-193, 1990.

ALVES, Janyelle Severino. **Elaboração e Caracterização de Filmes Finos de Amido de Milho e Parafina**. 2009, 120p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciência dos Alimentos. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ASSIS, C. P. **Estudo comparativo entre MDF e MDP utilizados na indústria moveleira**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus experimental de Itapeva, Itapeva-SP, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2009, ano base 2008**. ABIMCI, Curitiba - PR, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Nossos produtos**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDF.php>>. Acesso em: 25 de jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA. **Números**. 2014a. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>> Acesso em: 25 jan. 2017.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES SETORIAL: **Painéis de madeira no Brasil: Panorama de mercado: painéis de madeira**. p.323-384, 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>. Acesso em: 24 jan. 2017.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – BNDES SETORIAL. **Painéis de Madeira no Brasil: Panorama e Perspectivas**. 27. ed. Rio de Janeiro, 2008. p. 121-156. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set2706.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.

BATISTA, J. S. **Etapas do processo produtivo da empresa Berneck S.A. painéis e serrados**, UFSC Universidade Federal de Santa Catarina, Curitiba-SC, 2014.

BELLO-PÉREZ, L.A.; MONTEALVO, M.G.M.; ACEVEDO, E.A. Almidón: definicion, estructura y propiedades. In: LAJOLO, F.M.; MENEZES, E. W. **Carboidratos em alimentos regionales iberoamericano**. São Paulo: Edusp, 2006. Cap.1, p. 17-46.

BIAZUS, A.; HORA, A. B.; LEITE, B. G. P. **Painéis de Madeira MDP e MDF – Mercado e Competitividade**. REMADE - Revista madeira, Curitiba – PR, ano 13, n. 136, jul. 2013. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1683&subject=Pain%20e%20MDF%20e%20Mercado%20e%20Competitividade>. Acesso em: 18 ago. 2017.

BILIADERIS, C. G. The structure and interactions of starch with food constituents. Canadian Journal of Physiology and Pharmacology, v. 69, p. 60-78, 1991. BOM, R. P. **Cadeira de painéis de madeira. Processo produtivo de painéis MDF**, Centro universitário de União da Vitória, União da Vitória-PR, 2008.

BOURSIER, B. **Applications alimentaires des amidons modifiés**. Industries Alimentaires et Agricoles, Paris, v. 111, n. 9, p. 583-592, 1994.

BRAND, M. A.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A. Avaliação do processo produtivo de uma indústria de manufatura de painéis por meio do balanço de material e do rendimento da matéria-prima. **Rev. Árvore**, vol.28 n.4, Viçosa, 2004.

BRASIL. Cadeia produtiva de madeira. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; coordenadores Antonio Márcio Buainain e Mário Otávio Batalha. – Brasília: IICA: MAPA/SPA, 2007.84 p.; 17,5 x 24 cm – (Agronegócios; v. 6).

BROSALE, R.; SINGHAL, R. Process optimization for the synthesis of octenil succinil derivate of waxy corn and amaranth starches, Carbohydrate Polymers, in press, 2006.

BRUNO, E. G. **Painéis facilitam usinagem na fabricação moveleira**. REMADE - Revista da madeira, Curitiba – PR. Edição n° 109, dezembro de 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1180&subject=Pain%20e%20S-MDF&title=Pain%20e%20facilitam%20usinagem%20na%20fabrica%20e%20moveleira%20e%20competitividade>. Acesso em: 16 fev. 2017

CAMPOS, C. I. **Processo produtivo de chapa de fibra de média densidade**. REMADE - Revista da Madeira, Curitiba - PR. Edição 71, maio de 2003. Disponível em: <<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira>> Acesso em: 25 jan. 2017.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído**. *Matéria*, vol 9, Nº1 (2004) 32- 42.

CEREDA, M. P. (Coord.) **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas)

CEREDA, M. P. Amidos modificados. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n.1, p. 28-30, jan/jun. 1996.

CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.; DEMIATE, I.M. Amidos modificados. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003, v.3. Cap.12, p. 246-332.

CUI, S. W.; LIU, Q.; XIE, S. X. *Food Carbohydrates, Chemistry, Physical Properties, and Applications*. Chapter 8. *Starch Modifications and Applications*. Editora CRC Press, 2005.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana a base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**, Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2005.

DURATEX S. A. **Informação de valor**. 2009. Disponível em: <<http://www.investinfo.com.br/Temp/N05523YP.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

ESPINOSA, M. M.; JR, C. C. **Statistical Fatigue Experiment Design in Medium Density Fiberboard**. 2000. *Mat. Res.* v.3 n.3. Instituto de física de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

EUGÊNIO, Rafael Augusto Pinholati. **Painéis de medium density fiberboard produzidos com adesivo alternativo**, 2016 126 p. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016.

FOELKEL, Celso. **Descascamento de toras de Eucaliptos**. *REMADE - Revista da Madeira*, Curitiba – PR. Edição n. 131, maio de 2012. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1604&subject=Toras&title=Descascamento%20de%20toras%20de%20eucaliptos>. Acesso em: 13 de fev. 2017.

FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. IPEF, Piracicaba, v. 2, n. 3, p. 65-74, 1971.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO statisticsdivision**. Rome, 2014. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/F/*/E>. Acesso em: 29 mar. 2017.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: wood as na engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p., 2010.

FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, I.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, O.F.; SARMENTO, S.B.S. **Propriedades gerais do amido**. São Paulo: fundação Cargil, 2001. 221p

FRANÇA, M. C. **Produção de painéis aglomerados de fibras oversize de uma indústria de MDF**, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages-SC, 2015.

FREIRE, A. L. F., FIGUEIRÊDO, M. C. B., ROSA, M. F., JÚNIOR, C. P. A. Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados - Uma revisão de literatura. **Rev. Espacios**, Vol. 36 (Nº 10), p. 3, 2015.

HEDLUND, T. A. **A redução dos impactos ambientais como proposta para o desenvolvimento de luminária a partir de resíduos de MDF**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

HOOVER, R. Acid-treated starches. **Food Review International**, v. 16, p. 369-392, 2000.

HORIMOTO, L. K. e CABELLO, C. Parâmetros para a produção de amidos catiônicos de fécula de mandioca e de batata doce. *Revista Raízes*. V. 1, P. 69-75, ano 2005.

HOSENEY, R. C. **Princípios de Ciência y Tecnología de los Cereales**. Editora Acribia, S.A. Zaragoza – España, 1991. 321p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ - **Relatório Anuário Estatístico da IBÁ - Ano base 2015**. Brasília 2015, 80p.

IVANOV, I. V.; SADOWSKI, T.; FILIPIAK, M.; KNEC, M. Experimental and numerical investigation of plywood progressive failure in CT tests **Budownictwo i Architektura**, v. 2, p. 79–94. 2008.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005a, p. 247.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S. de; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. do R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. **Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-ureia-formaldeído**. In: *Revista Cerne*. Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

JOBLING, S. Improving starch for food and industrial applications. **Plant Biotechnology**, v.7, p. 210-218, 2004.

JUNIOR, E. F. C.; SILVA, M. C.; CASSILHA, A. C.; PODLASEK, C. L.; MENGATTO, S. N. F. Indústria moveleira e resíduos sólidos: considerações para o equilíbrio ambiental. **Revista Educação & Tecnologia**, ed. CEFET-PR, v.8, p. 209, Curitiba, 2004.

KARIM, A.A.; NADIHA, M.Z.; CHEN, F.K.; PHUAH, Y.P.; CHUI, Y.M.; FAZILAH, A. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago starch. **Food Hydrocolloids**, v.22, p.1044-1053, 2008.

KATSUKAKE, A. **Uma revisão sobre resina Uréia-Formaldeído (R-UF) empregada na produção de Painéis de Madeira Reconstituída**. 2009. Monografia de Conclusão de Curso.

Faculdade de ciências, Departamento de química, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

KHALIL, M. I.; ALY, A. A. Preparation and evaluation of some cationic starch derivatives as flocculants. **Starch/Stärke**, Weinheim, v. 53, p. 84-89, 2002.

KIM, S.; KIM, H. J. Comparison of standard methods and gas chromatography method in determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins. **Bioresource Technology**, v 96, ed 13, p 1457–1464, Set, 2005.

KOCH, M. R. Gestão de resíduos sólidos de uma indústria de aglomerados e moveleira – um olhar para sustentabilidade. **UNIVATES**, Lajeado, 2012. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/293/1/MarcianoKoch.pdf>>.

KUAKPEETON, D.; WANG, Y. Characterization of Different Starches Oxidized by Hypochlorite. **Starch/Stärke**. v.53, p. 211-218, 2001.

KUAKPETOON, D. S., WANG, Y. J. Locations of hypochlorite oxidation in corn starches varying in amylose content. **Carbohydrate Research**, v.343, p.90-100,2008.

LAWAL, O. S.; LECHNER, M. D.; KULICKE, W.M. The synthesis conditions, characterizations and termal degradation studies of na etherified starch from na unconventional source. *Polymer Degradation and Stability*, v. 93, p. 1520-1528, 2008.

LEE. H. L. et. al. Surface sizing with cationic starch: its effects on paper quality and papermaking process. **Solutions! Tappi Journal.**, New York, v. 85, n. 1, p. 1-7, 2002.

LOPES FILHO, J. F.; RAMOS, A. P.; ROMERO, J. T. **Difusividades da água, dióxido de enxofre e ácido láctico em grãos de milho durante a maceração para o processo de moagem úmida**. Brazilian Journal of Food Technology, v.9, n.4, p. 257-263, 2006MACEDO, Rafael. **Crescimento à vista – Perspectivas 2017**. Fórum Nacional das Atividades de Base Florestal, 2017. Disponível em: <<http://www.forumflorestal.org.br/2017/03/10/crescimento-a-vista-perspectivas-2017/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

MAHER, J. E. Alkaline sizing. In: ALKALINE SIZING SEMINAR, 1996, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1996.

MAHER, S. L.; CREMER, C. W. Paper industry. In: WURZBURG, O. B.(Ed.) **Modified starches: properties and uses**. Florida: CRC. 1986. p. 212-228.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. Updated edition covers composite wood products. Miller Freeman, San Francisco, 1993.

MIYAMOTO. **Açúcares: Estrutura e Função**. 2011. Universidade de São Paulo (USP). Disponível em: <http://www2.iq.usp.br/docente/miyamoto/QBQ0105%20Enfermagem/Aula_Carboidratos_Estrutura.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2017.

MICHELON, A. L.S. **Estudo comparativo de dois tipos de painéis de MDF: com adição de papel impregnado e lâminas de bambu**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus experimental de Itapeva, Itapeva-SP, 2011

MOORTHY, S.N. Large scale industries. In. BALAGOPALAN. Intergrated technologies for value addition and post harvest management in tropical tuber crops. **Thiruvananthapuram: Central Tuber Crops Research Institute**, 2000. Cap.6, p. 106-137.

MONDRAGÓN, M.; BELLO-PERÉZ, L. A.; AGAMA, E.; MELO, A.; BETANCURANCONA, D.; PENÃ, J. L. Effect of nixtamalization on the modification of the crystalline structure of maize starch. **Carbohydrate Polymers**, v.55, p.411–418, (2004).

MOORTHY, S. N. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. **Starch/Stärke**, Weinheim, n. 54, p. 559-592, 2002.

MOREIRA, Beth. **Duratex investirá R\$ 1,3 bilhão em nova unidade em MG**. 2014. Disponível em: <<http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios,duratex-investira-r-1-3-bilhao-em-nova-unidade-em-mg,179516e>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

MOREIRA, Beth. **Produção brasileira de celose cresce 5,3% entre janeiro e maio**. 2017. Disponível em: <http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2017/07/04/internas_economia,881269/producao-brasileira-de-celulose-cresce-5-3-entre-janeiro-e-maio.shtml>. Acesso em: 17 ago. 2017.

MOREIRA, Marli. **Exportações de madeira, papel e celulose crescem 7,3% no 1º semestre**. 2017. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2017-07/exportacoes-de-madeira-papel-e-celulose-crescem-73-no-1o-semester>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

NAKAZAWA, Y.; WANG, Y. J. Effect of annealing on starch-palmitic acid interaction. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, n.3, p. 327-335, 2004.

NEVES, F.M. **Ação Do Bissulfito De Sódio Nas Propriedades Da Farinha De Arroz Mottí Tratada Com Ácido Lático**. 2007, 97p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS 2007.

ORO, Tatiana et al. Propriedades de pasta de mesclas de farinha integral com farinha refinada usadas na produção de pães. **Ciência Rural**, v. 43, n. 4, p. 754-760, 2013.

PAULA, Cleide. **Legislação ambiental complexa e de difícil aplicabilidade e política de crédito incompatível com a realidade de longo prazo da silvicultura são os principais desafios da indústria nacional de painéis de madeira**. 2016. Disponível em: <<http://www.emobile.com.br/site/industria/presidente-executiva-da-iba-analisa-mercado-de-paineis/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

PARKER, R.; RING, S.G. Aspects of the physical chemistry of starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, n. 1, p. 1-17, 2001).

PARTHASARATHY, Srinandini et al. Effect of temperature and humidity on formaldehyde emissions in temporary housing units. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 61, n. 6, p. 689-695, 2011).

PEREIRA; C.M.C. **Estudo da operação de prensagem e cura do aglomerado de fibras de média densidade (MDF)**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2002.

PIEKARSKI, C. M. **Proposta de melhoria do desempenho ambiental associado ao ciclo de vida da produção do painel de madeira MDF**. 2013. 148 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

RANDRUP, R. G. Química da parte úmida de máquina de papel – Parte I: Estrutura química dos principais componentes do papel. **O papel**, v.52, n.7, p. 41 – 51, 1991.

REDDY, I.; SEIB, P.A. Modified Waxy Wheat Starch Compared to Modified Waxy Corn Starch. **Journal of Cereal Science**, v. 31, p. 25–39, 2000.

REMADE. **Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado**. Revista da Madeira, Curitiba – PR, ano 14, n. 84, out. 2004a. Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=84&id=630>. Acesso em: 24 jan. 2017.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E.A.G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher. Instituto de Mauá de Tecnologia, 2004,183p.

ROCHA, M. P. **Desdobro**. REMADE - Revista da Madeira, Curitiba – PR. Edição n. 68, dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=265&subject=Desdobro&title=Desdobro>. Acesso em: 13 fev. 2017

ROSA, S. E. S.; CORREA, A. R.; LEMOS, M. L. F.; BARROSO, D. V. O Setor de móveis na atualidade: uma análise preliminar. **BNDES Setorial**, n. 25, p. 65-106, Rio de Janeiro, 2007.

SAGAR, A. D.; PULLE, J. S.; REDDY, S. M. V. Microwave assisted synthesis of carboxymethylstarch. *Int J. Chem. Sci*, v. 10, p. 36-42, 2012.

SÁNCHEZ-RIVERA, M.M.; GARCÍA-SUÁREZ, F.J.L.; VELÁZQUEZ DEL VALLE, M.; GUTIERREZ-MERAZ, F.; BELLO-PÉREZ, L.A. Partial characterization of banana starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v.62, p. 50 - 56, 2005.

SANDHU, K.S.; KAUR, M.; SINGH, N.; LIM, S. A comparison of native and oxidized normal and waxy corn starches: Physicochemical, thermal, morphological and pasting properties. **LWT- Food Science and Technology**, v.41, p.1000-1010, 2008.

SANTIAGO, F. L. S.. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para aproveitamento de cascas de Eucalyptus gerados no processo de fabricação de painéis de madeira**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP, 2007.

SANTINI, E. J. **Secagem de madeira em estufa solar e sua comparação com os métodos convencionais**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1985.

SCHLEMMER, D.; SALES, M. J.; RESCK, I. S. **Preparação e Degradação de Blendas OS/TPS Usando Glicerol e Óleo de Buriti como Plastificantes.** *Polímeros, Ciência e Tecnologia*, v. 20, n. 1, p. 6-13, 2010.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (**SEBRAE**), 2013. Disponível em: <<http://www.sebraeminasdesign.com.br/blog/novo-mdf-que-utiliza-amido-de-batata-promete-revolucao-no-setor-moveleiro>>. Acesso em: 15ago. de 2017.

SILVA, G. O.; TAKIZAWA, F. F.; PEDROSO, R. A.; FRANDO, C. M. L.; LEONEL, M.; SARMENTO, S. B. S.; DEMIATE, I. M. **Características físico-químicas de amidos modificados de grau alimentício comercializados no Brasil.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, p. 188-197, 2006.

SILVA, J. E. E. **Estudo da influência das resinas termofixas uréia formaldeído (UF) e melamina formaldeído (MF) nas características físicas e mecânicas de painéis MDF.** Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP, 2013.

SILVA, R.P. **Relatório Iba 2016: produção e consumo de painéis apresenta baixa.** 2016. Disponível em: <<http://www.emobile.com.br/site/industria/relatorio-iba-2016-producao-consumo-paineis/>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

SINGH, J.; KAUR, L.; McCARTHY, O.J. Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications – A review. **Food Hydrocolloids**, v.21, p.1-22, 2007.

SINGH, N.; KAUR, L; SODHI, N. S.; GILL, B. S. **Morphological, termal and rheological properties of starches from diferente botanical sources.** *Food Chemistry*, v 81, p. 219-231, 2003.

SOROKIN, A.B.; KACHKAROVA-SOROKINA, S.L.; DONZÉ,C.; PINEL,C.; PGALLEZOT, P. From native starch to hydrophilic and hydrophobic products: a catalytic approach, **Topics Catal** v. 27, p.67–76, 2004.

SÓSTONES, A.; LISBOA, R.; MICAELLE, S.; ARAÚJO, S. **Resina de Ureia-formaldeído.** 2010. Licenciatura Plena em Química. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Petrolina – PE, 2010.

SOUZA, K. A. F. D. Pesquisa de polissacarídeos: reação com o iodo. Teste amido. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2012.

SPIER, Franciela. **Efeito dos Tratamentos Alcalino, Ácido e Oxidativo nas Propriedades do Amido de Milho.** 2010, 72p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2007.

SRISHUWONG, S.; SUNARTI, T., MISHIMA, ISONO, N.; HISAMATSU, M. Starches from different botanical sources: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, v.62, p.25-34, 2005.

SURMELY, R.; ALVAREZ, H.; CEREDA, M.P.; VILPOUX, O.F. Hidrólise do **Amido. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas**. v. 3, cap. 15, p. 379-448, 2003.

TAGGART, P. Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: ELIASSON. A.C. **Starch in food: Structure, function and applications**. CRC Press, INC., Boca Raton, cap. 12, 2004.

TAKIZAWA, F.F., SILVA, G.O., KONKEL, F.E., DEMIATE, I.M. Characterization of Tropical Starches Modified with Potassium Permanganate and Lactic Acid. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, 47, 921-931, 2004.

TEIXEIRA, M. F. **Processo de fabricação de móveis utilizando-se chapas de fibras de madeira de média densidade (MDF ou MDP)**. 2010. 43 f. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Candido Mendes. Rio de Janeiro, 2010.

TESTER et al. Starch: composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*, 2004. 39: p. 151-165.

THOMAS, D.J., ATWELL, W.A. **Starches: practical guides for the food industry**. Minnesota: Eagan Press Handbook Series, 1999. 94p.

TORQUATO, L. P. **Caracterização dos Painéis MDF Comerciais Produzidos no Brasil**. 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal Do Paraná. Curitiba, 2008.

TORQUATO, L.P. **Estudo do Mercado Espanhol de Painéis Isolantes**. ISOROY – Grupo SONAE Indústria. UFPR, Curitiba, 2004.

TORQUATO, L. P. Produção de painéis pode chegar a 12 milhões de m³ em dez anos. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 124, jul. 2010. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1475&s subject=Painel](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1475&s%20subject=Painel)>. Acesso em: 29 mar. 2017.

TOVAR, Juscelino et al. Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels. **Food Chemistry**, v. 76, n. 4, p. 455-459, 2002).

VAN DER BURGT, Y. E. M.; BERGSMA, J.; BLEEKER, I. P.; MIJLAND, P. J. H. C.; KAMERLING, J.P.; VLIEGENHART, J. F. G. Structural studies on methylated starch granules. *Starch/Starke*, v. 52, n. 2-3, p. 40-43, 2000.

VICK, C. B. **Adhesive bonding of wood materials. In: Wood Handbook: wood as an engineering material**. Agric. Handb.72. Washington, DC: United States Department of Agriculture; rev. 1987.

VIDAL, André C. F; HORA, André B. – BNDES SETORIAL. **Panorama de mercado: painéis de madeira**. 32. ed. Rio de Janeiro, 2010. p. 49-90. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set32102.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.

WALKDEN, S. A. Cellulose reactive sizing. In: ALKALINE SIZING SEMINAR, 1996. São Paulo. **Anais...**, São Paulo: ABTCP, 1996.

WANG, Y.; WANG, L. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. **Carbohydrate Polymers**, v.52, 207-215, (2003).

WANG, N.; YU, J.G.; MA, X.F. Preparation and characterization of thermoplastic starch/PLA blends by one-step reactive extrusion. **Polymer International**, v.56, p.1440-1448, (2007).

WEBER, Cristiane. **Estudo sobre a viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WEBER, Cristiane; IWAKIRI, Setsuo. Utilização de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 405-413, 2015)

WEBER, F.H.; QUEIROZ, F.P.C; CHANG, Y.K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilase, **Rev. Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 748-753, 2009.

WILDNER, M. V. Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário. **UNIVATES**, Lajeado, 2015. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/867/1/2015MarcusViniciusWildner.pdf>>.

WORLD PANEL INDUSTRY. **Products: MDF**. Disponível em: <<http://www.worldpanelindustry.com/mdf>>. Acesso em: 20 jan 2017.

ZHANG, S.D., ZHANG, Y.R., ZHU, J., WANG, X.L., YANG, K.K., & WANG, Y.Z. Modified corn starches with improved comprehensive properties for preparing thermoplastics. **Starch/Stärke**, v.59, p.598- 604, 2007.