

Painéis de resíduos aglomerados utilizando amido de milho**Agglomerated waste panels using corn starch**

Recebimento dos originais: 24/01/2019

Aceitação para publicação: 27/02/2019

Danielle Zanquêta de Souza

Mestre Profissional em Engenharia Química pela Universidade de Uberaba

Instituição: Universidade de Uberaba

Endereço: Av. Nenê Sabino, 1801 - Universitário, Uberaba - MG, Brasil

E-mail: danizanqueta4@hotmail.com

David Maikel Fernandes

Doutor em Química pela Universidade Federal de Uberlândia

Instituição: Universidade de Uberaba

Endereço: Av. Nenê Sabino, 1801 - Universitário, Uberaba - MG, Brasil

E-mail: david.fernandes@uniube.br

José Roberto Delalibera Finzer

Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas

Instituição: Universidade de Uberaba

Endereço: Av. Nenê Sabino, 1801 - Universitário, Uberaba - MG, Brasil

E-mail: jrdfinzer@uol.com.br

RESUMO

Resíduos de indústrias de MDF, conhecidos internacionalmente como MDF, podem ser reutilizados como matéria-prima e, quando adicionados ao adesivo ecológico, geram um material menos nocivo à saúde e ao meio ambiente, comparado ao processo de fabricação com resina sintética (ureia -formaldeído). Este estudo tem como objetivo geral a aplicação de amido de milho como adesivo de MDF, bem como a reutilização dos resíduos do processo de fabricação, reduzindo assim o descarte em aterros e a incineração desses resíduos. Para alcançar este objetivo, foi realizado um processo em escala de laboratório reproduzindo o processo industrial do MDF. O adesivo e as fibras de madeira foram produzidos, e o amido de milho foi usado como adesivo. A prensagem da mistura foi feita em uma prensa manual e depois foi seca em uma placa. Para a mensuração da eficácia do processo e produto, foi realizada a análise físico-química e determinadas características do adesivo, como pH, viscosidade, gravidade específica e análises mecânicas no corpo de prova produzido que foram resistência a tração perpendicular, teor de água, gravidade específica e inchaço de espessura. A análise do adesivo mostrou alta viscosidade devido à menor uniformidade das partículas que serão melhoradas utilizando catalisadores, pH 5,8, indicando que ocorreu o processo de gelatinização e, em seguida, retrogradação. A gravidade específica apresentada (1005 kg / m³) foi evidenciada pela maior quantidade de água no procedimento amostral (95,8% p / p). Os ensaios de tração apresentaram valor médio de 3,61 ± 1,15 kg / cm² e gravidade média de 440,63 kg / m³ indicando uma boa interação entre matéria-prima e adesivo. O teor de água e o inchamento na espessura 6,30 ± 0,13 (% p / p) e 6,04 ± 0,56 (%) respectivamente indicaram a menor absorção de água do material produzido e ambos de acordo com as normas. Os resultados apresentados foram promissores do ponto de vista de

mercado, uma vez que foi utilizado o uso de resíduos da indústria moveleira e uma resina natural.

Palavras-chave: Amido de milho. MDF (painel de fibra de média densidade). 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 na 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/m³) was in evidence for the higher amount of water in sample procedure (95.8% w/w). The traction tests presented medium value 3.61 ± 1.15 kg/cm² and medium specific gravity of 440.63 kg/m³ 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.

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 EXPERIMENTAL**2.1 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.

2.1.1 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.

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).

2.1.2 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 1).

Figura 1. Fibras de madeira que receberam a adesão de amido de milho.



Fonte: Elaborada pela autora.

2.1.3 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 2).

Figura 2. 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 3).

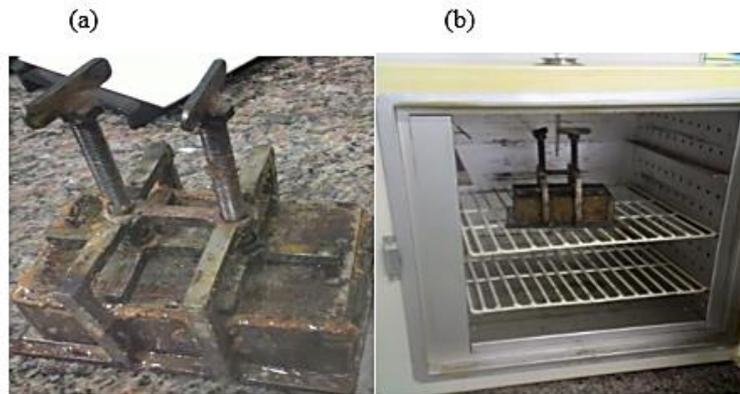
Figure 3. Pré-prensagem.



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 4).

Figura 4. 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 5).

Figura 5. 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 6).

Figura 6. Placa de MDF lixada.



Fonte: Elaborada pela autora.

2.2 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.

2.2.1 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 7), paquímetro, serra circular com guia e trena. Procedimento para determinação da densidade, de forma manual e automática.

- 1 Manual:
- 2 Identificar os corpos de prova
- 3 Medir o comprimento, largura e espessura do corpo de prova e pesá-lo;
- 4 Anotar todas as medidas efetuadas.
- 5 Máquina de Ensaio Automática:
- 6 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 7. Equipamento para determinação da densidade da chapa.



Fonte: SILVA, 2013.

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

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

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.

2.2.2 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)

2.2.3 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.

$$I = \frac{(E_f - E_i)}{E_i} \times 100 \quad (3)$$

Na qual:

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

E_i = Espessura inicial do corpo de prova (mm)

E_f = Espessura final do corpo de prova (mm)

2.2.4 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 8) 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 8. Equipamentos utilizados no ensaio de tração perpendicular, baseado na EN 319 (2003).

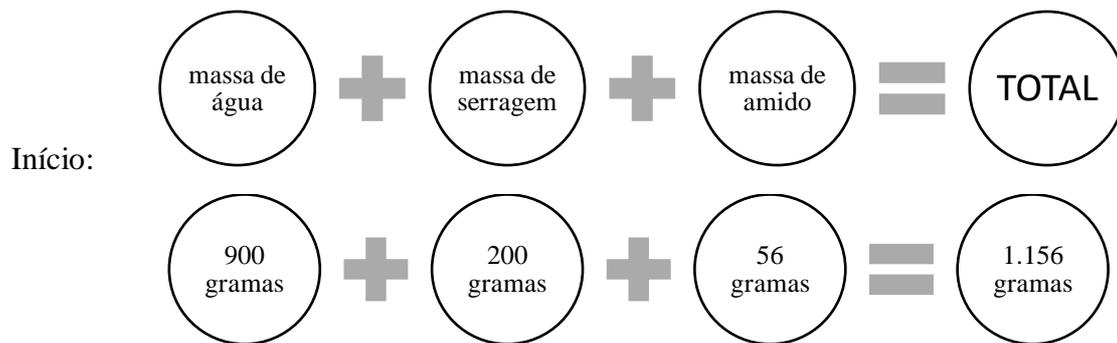


Fonte: CAMPOS; LAHR, 2004.

3 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.

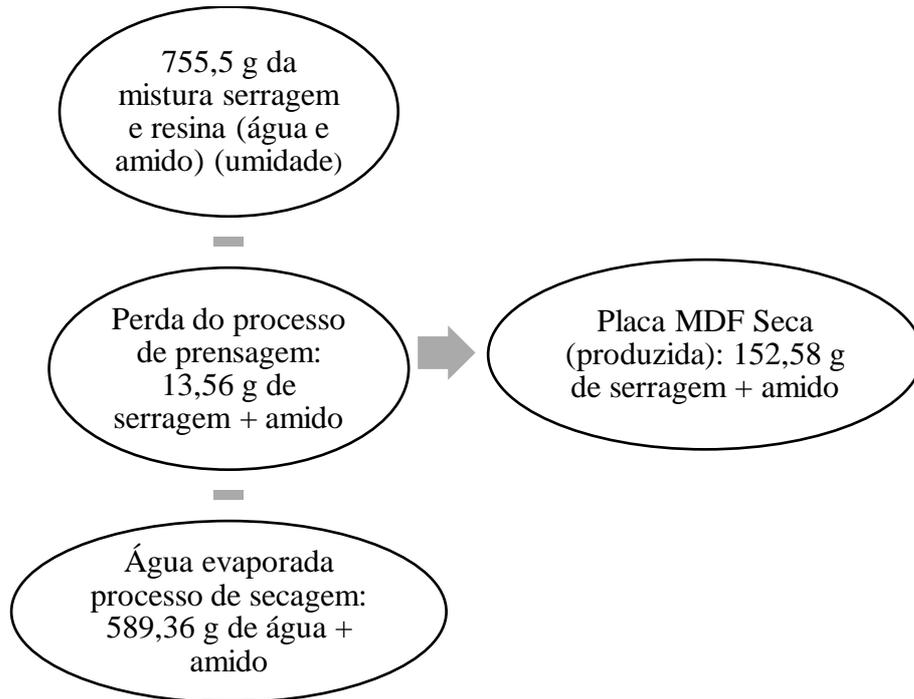
Esquema 1:



Logo:

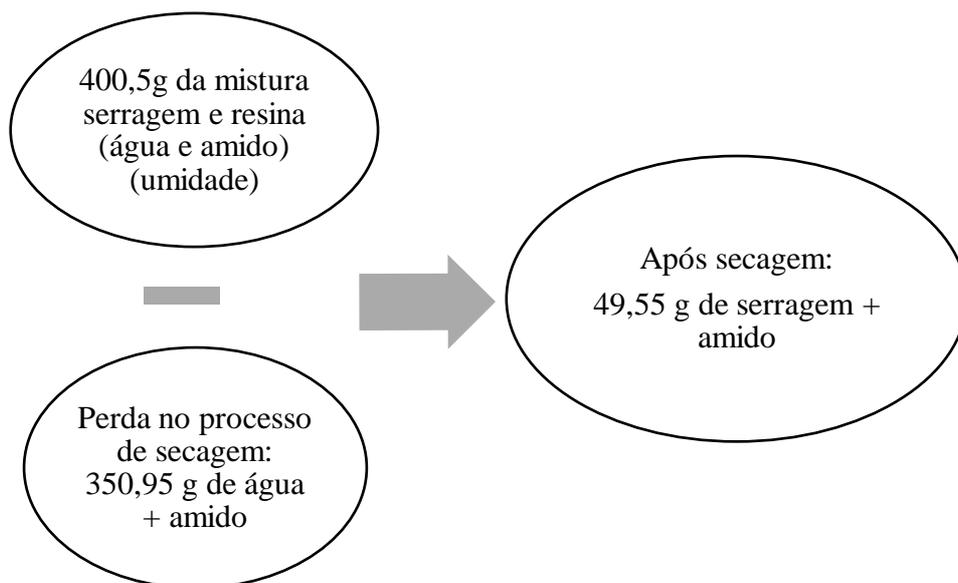
1. PRODUÇÃO:

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.

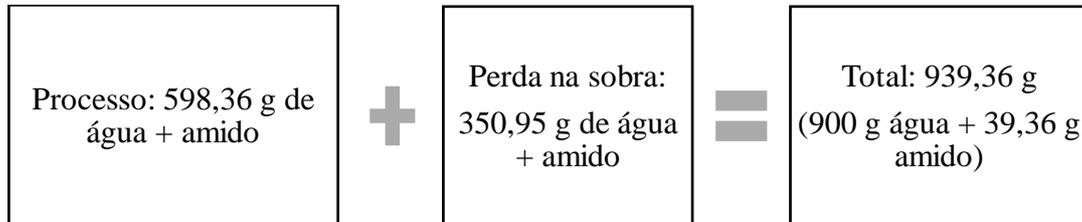
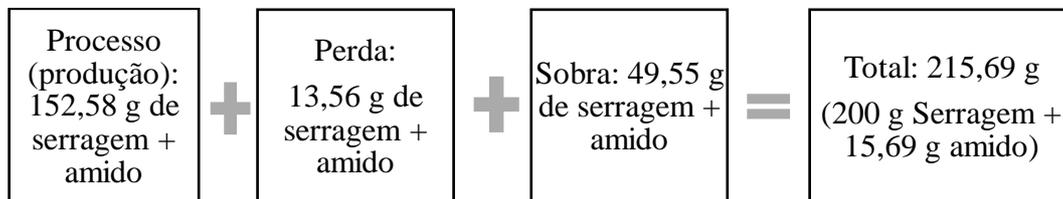
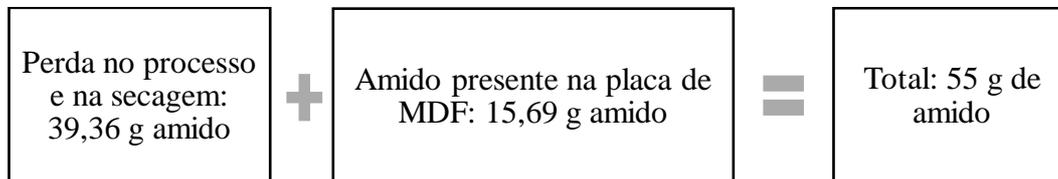
Esquema 3:



3. BALANÇO

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

Esquema 4:

7 Água**8 Serragem****9 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 obteve-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, 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.

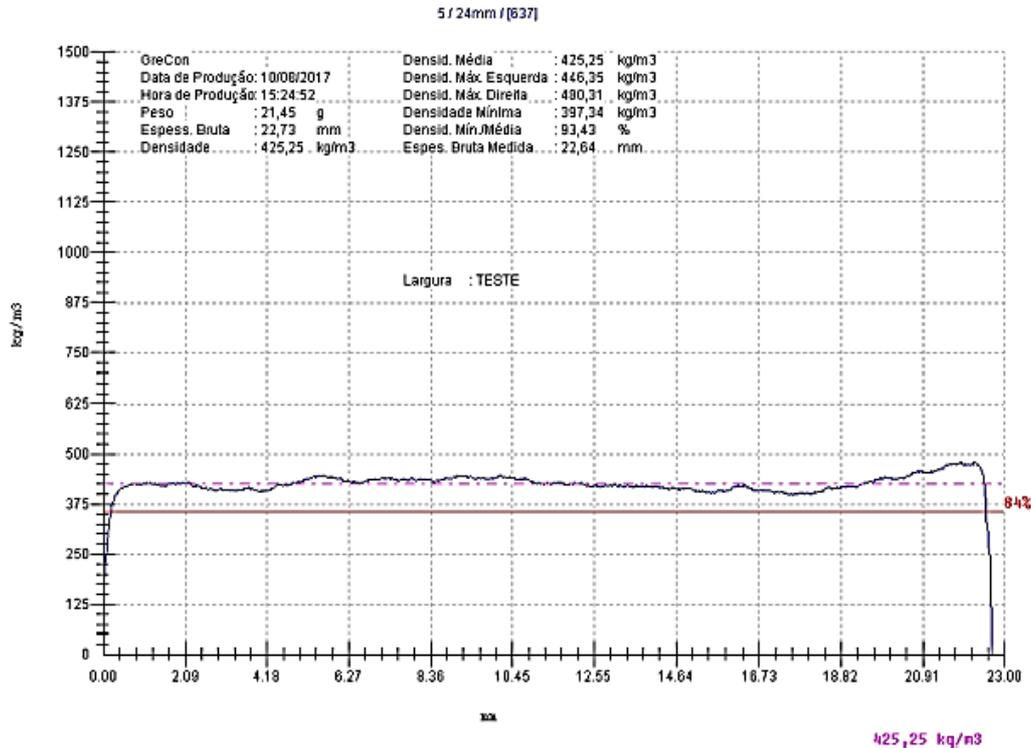
Quadro 6. Especificações de chapas de MDF.

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 9, 10 e 11, nos apresentam os perfis de densidade dos corpos de prova testados.

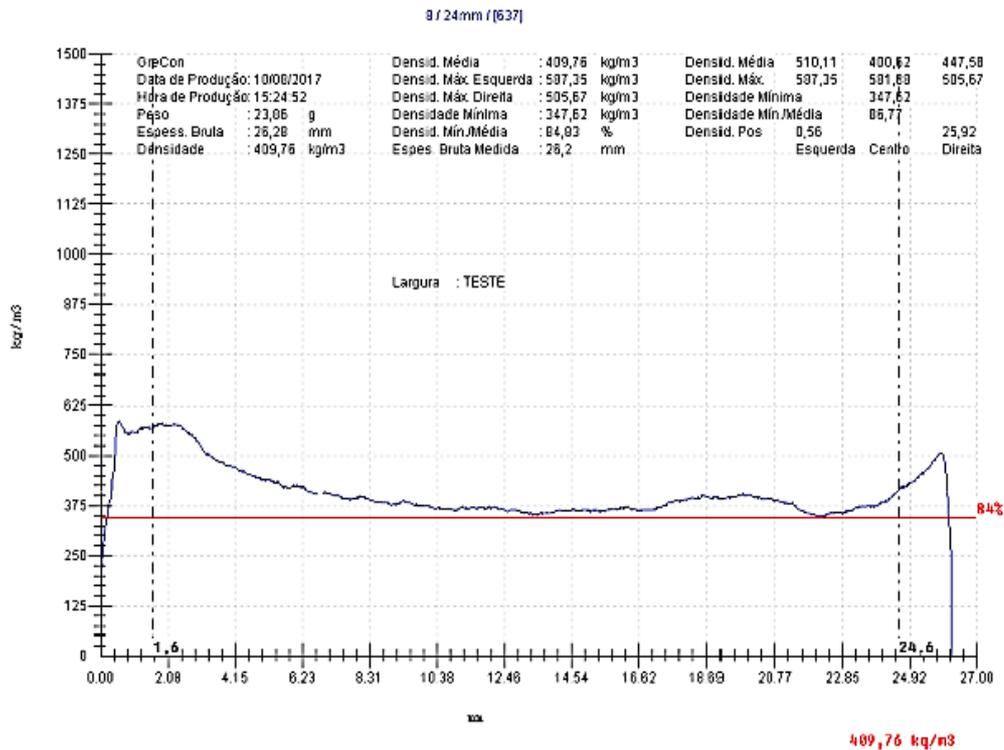
Figura 9. Densidade Média – parte 1.



Fonte: Elaborado pela autora

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.

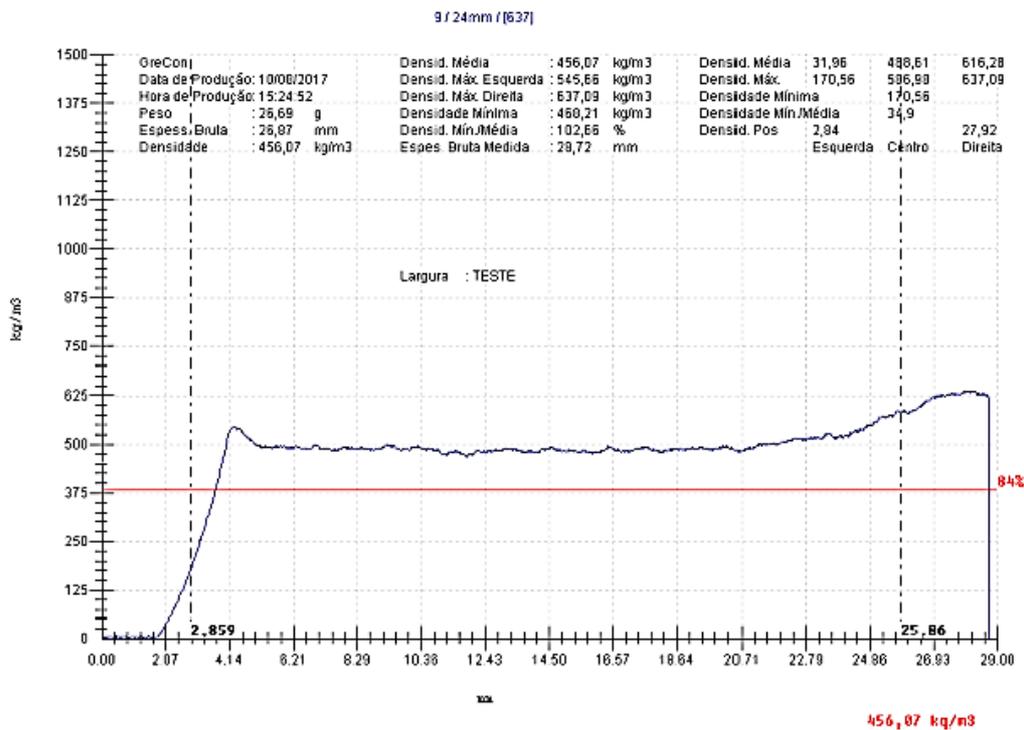
Figura 10. Densidade Média – parte 2.



Fonte: Elaborado pela autora

Nas figuras 10 e 11 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 11. Densidade Média – parte 3



Fonte: Elaborado pela autora

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).

4 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. 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 de fev. de 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.

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 de jan. 2017.

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.

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

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.

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.

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.

FARAGE et al. Avaliação do potencial de aproveitamento energético dos resíduos de madeira e derivados gerados em fábricas do polo moveleiro de Ubá-MG. **Ciência Florestal**. 2012.

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.

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

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.

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.

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).

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.

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, 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.

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

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).

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.

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>>.