



PAINÉIS DE RESÍDUOS AGLOMERADOS UTILIZANDO AMIDO DE MILHO

T.H. SILVA^{1*}, J.R.D. FINZER², D.M. FERNANDES³

^{1,2,3} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

*e-mail: tiago henrique_2505@hotmail.com; jrdfinzer@pq.cnpq.br; david.fernandes@uniube.br

RESUMO - Os resíduos provenientes das indústrias de placa de fibra de madeira de média densidade (MDF) podem ser reutilizados como matéria-prima, e quando adicionado o adesivo ecológico, geram um material menos prejudicial a saúde e ao meio ambiente quando comparado ao processo de fabricação utilizando resina sintética (uréia-formaldeído). 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. Foi executado um processo em escala laboratorial reproduzindo o processo industrial do MDF, onde foram produzidos o adesivo e a adesão das fibras de madeira com o amido de milho, a prensagem da mistura em prensa manual e a secagem da chapa. Foram realizadas análises físico-químicas, onde foram determinadas as características da resina de adesão, como pH, viscosidade, densidade e análises físico-mecânicas, que foram resistência a tração perpendicular, teor de umidade, resistência a tração superficial, densidade, inchamento da placa de madeira e absorção de água. Com a reutilização de resíduos como matéria-prima, ocorre uma diminuição nos descartes em aterros sanitários e a incineração desses resíduos da fibra de madeira de MDF, reduzindo os riscos ao meio ambiente e na saúde de seres humanos e animais.

INTRODUÇÃO

Existem vários mecanismos envolvidos na adesão entre dois materiais diferentes. Pode-se citar a interligação, interdifusão das moléculas, as ligações químicas primárias e a adesão específica resultante de ligações químicas secundárias. Nenhuma dessas teorias explica totalmente o fenômeno de adesão. Cada uma delas contribui em parte para a explicação da colagem da madeira (ELEOTÉRIO, 2000).

Os painéis de madeira são um dos principais produtos desenvolvidos usando árvores de florestas, destacando entre estes painéis, o MDP e o MDF (VIDAL; HORA, 2014). Entre os anos de 1997 e 2008, o consumo de painéis de MDF cresceu em média 11,8% (FREIRE *et al.*, 2015).

O *Medium-density fiberboard* (MDF) ou fibras de média densidade possui superfície plana com boa usinabilidade e uma aceitação abrangente de diversos acabamentos com revestimento, sendo um produto estável, homogêneo e uniforme (ESPINOSA; JR., 2000).

Na fabricação de painéis de MDF utilizam-se as madeiras de Pinus e Eucaliptus provenientes de cultivos florestais sustentáveis, que é visto como um material ecologicamente correto por diminuir o desmatamento de florestas nativas (WILDNER, 2015).

Os painéis de MDF são folhas constituídas de fibras de lignina-celulósicas e resina sintética ou outro método de adesivo correto, onde são unidos através da colagem

mediante calor e pressão (ESPINOSA; JR., 2000).

Para a produção de MDF, é comumente utilizada a resina formada por uréia e formaldeído (BOM, 2008). A resina uréia-formaldeído não é perigosa, porém, o formol presente nesta resina auxilia na toxicidade da mesma. Esta resina é considerada tóxica para organismos aquáticos, e seus perigos físico-químicos são associados a sua reatividade com ácidos e oxidantes fortes (KATSUKAKE, 2009).

A utilização do formaldeído é limitada, pois há formação de partículas de poeira durante o processo de usinagem e liberação de formaldeído em ambiente fechado, e desta forma, pode oferecer riscos à saúde (BOM, 2008).

A queima de resíduos do MDF libera gases prejudiciais ao meio ambiente devido a composição de resinas e também as peças que tiveram certo tipo de laminado plástico como revestimento ou uma certa pintura. Estes resíduos também podem ser queimados em olarias para gerar energia, porém, há emissão de gases levando a impactos ambientais pouco conhecidos (WILDNER, 2015).

No processo produtivo das indústrias moveleiras de base florestal, é gerado muitos resíduos. Muitas vezes, estes resíduos não são utilizados pelas suas indústrias de fabricação, e desta forma, são descartados em locais inadequados ou são incinerados (BRAND *et al*, 2004). Quando é utilizada resina sintética no processo de fabricação de MDF, a sua reciclagem é prejudicada, e desta forma, o material possui o mesmo destino dos resíduos não utilizados (SEBRAE, 2013).

Estas indústrias possuem dificuldades no descarte de resíduos sólidos, principalmente os resíduos de painéis de madeira. Desta forma, visando a redução dos impactos ambientais causados por estes resíduos, o reaproveitamento dos mesmos seria uma vantagem, pois podem ser usados em outras aplicações práticas e econômicas (WILDNER, 2015).

Os resíduos podem ser reutilizados como matéria-prima para a produção de painéis de madeira, proporcionando um destino adequado a estes resíduos, colaborando com o meio

ambiente, a indústria moveleira e a sociedade (KOCH, 2012).

Com o intuito de reduzir a preocupação com os fatores de riscos associados, uma opção consiste na utilização de um adesivo a base de amido. Os materiais a base de amido estão reduzindo o impacto ambiental na construção a um curto prazo, e estes, possuem grande potencial para ser usados em todo o mundo (ABBOTT; CONDE; DAVIS; WISE, 2012).

O presente estudo tem como objetivo aplicar o do amido de milho como adesivo de resíduos de MDF, diminuindo o descarte em aterros sanitários e incineração desses resíduos. Neste trabalho são efetuados testes iniciais usando serragem de madeira e o estudo se amplia para esse tipo de resíduo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais, equipamentos utilizados e a produção da chapa de MDF foram realizados no laboratório da Universidade de Uberaba, Campus Aeroporto / UNIUBE, e a metodologia foi desenvolvida pelos autores.

Produção de Painéis em Escala Laboratorial

Preparação do amido de milho como material de adesão: Para preparar o amido para a produção do painel, foram utilizados béquer de 600 mL contendo 375 mL de água destilada em cada Becker, de modo a facilitar a agitação e diluição do amido (Figura 1). A água foi aquecida com agitação em chapa de aquecimento até a temperatura de 71°C, pois na faixa de 65 a 77°C o amido de milho é gelatinizado e perde a sua cristalinidade.

Figura 1: Gelatinização do amido de milho



Ao estabilizar a temperatura de gelatinização que foi controlada com auxílio de um termômetro, colocou-se no béquer uma barra magnética para manter em agitação a mistura e ocorrer a total gelatinização do amido.

Foi acrescentado em cada béquer nos ensaios 28,5 gramas de amido. Essa massa foi adicionada gradativamente com auxílio de uma espátula de maneira a facilitar a mistura do amido com a água, obtendo-se uma solução adesiva viscosa, característica do amido gelatinizado.

Realizou análises físico-químicas de Viscosidade, pH e Densidade no adesivo de amido de milho objetivando mensurar suas características. A tabela abaixo mostra especificações de variável das características das resinas sintéticas uréia formaldeído (UF) e melamina formaldeído (MF) 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.

Tabela 1 - Parâmetros de referências de resinas sintéticas (SILVA, 2013).

Variáveis	Unidade	Resinas	
		UF	MF
Viscosidade Brookfield (25°C)	cP	40 – 65	
pH (25°C)	-	7,0 – 8,5	
Densidade (25°C)	g/cm ³	>1,24	

Preparação das fibras e produção da chapa de madeira: Foram depositadas em uma bandeja de alumínio 98 gramas de fibra de madeira para formar um colchão que recebeu a solução adesiva de amido.

Após ser formado o colchão de fibras, foi realizada a mistura da solução de adesão com auxílio de um bastão de polietileno, obtendo-se uma mistura pronta para ser prensada.

Antes de iniciar a prensagem, foi untada com óleo vegetal todas as partes da prensa manual que teria contato com a mistura para

conseguir desenformar o painel de resíduos de madeira com facilidade. Desta forma, foi acondicionada as fibras em caixa formadora de painéis, manualmente, de maneira uniforme em toda extensão da caixa.

Figura 2: Mistura de fibra resina de adesão e preparação para prensagem.



Imediatamente após o acondicionamento da mistura, foi iniciada a pré-prensagem a frio para retirada do excesso de água, e em seguida, foi aquecida em estufa de secagem à temperatura de 85 à 95°C para reduzir a umidade da placa de madeira. Foram realizadas duas prensagens à quente, uma pré-prensagem seguido de 2 horas de secagem e a prensagem final do painel de madeira seguindo-se 22 horas de secagem, com intuito de obter a compactação máxima do painel de MDF e secagem padronizada, (ver a Figura 3).

Para conseguir uma secagem uniforme e rápida, após 4 horas em que foi realizada a prensagem final, foi retirada a chapa lisa na parte superior da prensa. Esta etapa foi finalizada com 50 horas de secagem, sendo o painel retirado da estufa e resfriado à temperatura ambiente em dessecador (ver a Figura 4).

O fator que determinou a finalização foi o resultado da umidade total desejada para a chapa de MDF seguindo a ABNT NBR 14810.

Figura 3: Prensagem do painel úmido



Figura 4: Característica do painel após prensagem, secagem e resfriamento.



Na etapa de acabamento, o painel de madeira passou pelo processo de lixamento, com intuito de deixar totalmente plana as suas superfícies. Posteriormente, impregnou-se papel de revestimento madeirado que é utilizado para acabamento e proteção da chapa, proporcionando um aspecto atraente.

Figura 5: Painel após lixamento da chapa e acabamento



Teste físico-mecânico: O painel elaborado, constituindo um corpo de prova foi submetido a testes físicos-mecânicos utilizando um dinamômetro. Os procedimentos experimentais para cada tipo de análise estão descritos na ABNT NBR 14810.

Densidade (d): Determinada sobre o corpo prova, determinando-se as suas dimensões e massa, usando-se Equação (1):

$$d = \frac{m}{A_{base} \times h} \times 10^6 \quad (1)$$

Sendo: d = densidade (Kg/m^3); m = massa do corpo de prova (g); Área da base do corpo de prova, A_{base} = (Comprimento \cdot Largura) (mm);

h = Espessura do corpo de prova (mm). Foi realizada a média de valores de dois painéis.

Umidade (U): A análise de teor de umidade tem o objetivo de definir a quantidade de água contida num corpo-de-prova. Para este ensaio, foi medida a massa do corpo-de-prova, antes e após eliminação da água por secagem em estufa a temperatura de 105°C até massa constante. A Equação (2) foi usada para o cálculo do teor de umidade, que corresponde a porcentagem de aumento de da massa de água absorvida pelo painel após imersão em água destilada na temperatura de 20°C por duas horas (ABNT NBR 14810, 2002).

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

Sendo: U = Teor de umidade da chapa em base seca (%); m_i = massa inicial do corpo de prova (g); m_f = massa final do corpo de prova (g).

Inchamento (I): Realizou-se o teste para determinação do inchamento por imersão em água destilada por 2 horas, onde foram retirados quatro corpos de prova da amostra (ver a Figura 6). De modo a não comprometer os resultados de ensaio foi realizado um leve lixamento em cada uma das amostras com a finalidade de retirar as imperfeições geradas no processo de corte. A Equação (3) foi usada para o cálculo da porcentagem de inchamento, quantificada como uma variação linear da espessura do painel (ABNT NBR 14810, 2002).

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

Sendo: I = Inchamento do corpo de prova (%); E_i = Espessura inicial do corpo de prova (mm); E_f = Espessura final do corpo de prova (mm).

Figura 6: Análise de Inchamento (antes e depois de imersão em água).



Absorção (AW): O ensaio de absorção de água acontece por imersão em água destilada por 2 horas. Para este ensaio, foi medida a massa dos corpos-de-prova, antes e após imersão em água. A absorção foi determinada pela Equação 4.

$$AW = \frac{mf - mi}{mi} \times 100 \quad (4)$$

Sendo: A_w = Absorção (%); mi = massa inicial do corpo de prova (g); mf = massa final do corpo de prova (g).

Resistência a tração perpendicular (Adesão Interna - AI): O ensaio de tração perpendicular tem o objetivo de definir a adesão interna em um corpo-de-prova. Os lados dos corpos-de-prova são colocados em suportes metálicos, aplicam-se trações em direções opostas, de modo que o mesmo se rompa. A Equação (5) foi utilizada para o cálculo da adesão interna, (ver a Figura 7).

$$AI = \frac{F}{A_{base}} \quad (5)$$

Na qual:

AI = Adesão Interna (kgf/cm^2); F = Força de ruptura (kgf); Área da base do corpo de prova, A_{base} = (Comprimento x Largura), (cm^2).

Figura 7: Análise Resistência tração perpendicular



Resistência a tração superficial (Adesão Superficial - AS): É a resistência que um corpo de prova oferece, quando submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente ao plano da face, para promover o arranque de determinada área da camada superficial (ver a Figura 8). A Equação (7) é uma simplificação da Equação (6) que foi utilizada para o cálculo da adesão superficial.

$$AS = \frac{F}{SR} \quad (6)$$

Como a área de rompimento é constante e igual a 10 cm^2 simplificar a equação:

$$AS = 0,1F \quad (7)$$

Sendo: AS = Adesão Superficial (kgf/cm^2); F = Força de ruptura (kgf); SR = Área de rompimento (Área do Suporte de rompimento do aparelho), (cm^2).

Figura 8: Análise de tração superficial



Foram realizadas 02 medidas nas análises de Tração perpendicular, Tração superficial e Umidade, enquanto foram realizadas 04 medidas para Inchamento e Absorção, pois, essas necessitam de uma quantidade maior de amostras para os testes, pois, trata-se de uma análise manual e não automatizada, como no

primeiro caso, diminuindo a probabilidade de erros de análise.

(imersa por duas horas) (Tabela 7); Densidade da amostra total (Tabela 8).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação à metodologia usada, foram determinados parâmetros essenciais para o tipo de material projetado. Dentre essas análises realizadas, foram determinados os parâmetros característicos do adesivo de amido de milho e do painel de fibra de madeira: Adesivo de amido (Tabela 2); Tração perpendicular (Tabela 3); Tração superficial (Tabela 4); Umidade (Tabela 5); Inchamento (tempo de duas horas) (Tabela 6); Absorção

Tabela 2: Adesivo de amido de milho

Variáveis	Unidade	Adesivo de Amido de Milho
Viscosidade Bookfield (70°C)	cP	8.700
pH (25°C)	-	5,8
Densidade (25°C)	g/cm ³	1,005

Tabela 3: Tração perpendicular

Tração perpendicular								
No.	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)	Densidade (kg/m ³)	Peso por superfície (kg/m ²)	Força (kgf)	Tração (kgf/cm ²)
1	50,61	50,26	15,58	15,65	394,90	6,15	151,70	5,96
2	50,97	51,20	15,83	15,45	373,99	5,92	149,68	5,74
Média	50,79	50,73	15,70	15,55	384,45	6,04	150,69	5,85

Tabela 4: Tração superficial

Tração superficial		
No.	Força (kgf)	Tração superficial (kgf/cm ²)
1	89,20	8,92
2	83,57	8,36
Média	86,38	8,64

Tabela 5: Umidade

No.	Massa (g)	Peso por superfície (kg/m ²)	Peso seco (g)	Umidade (%)
1	15,44	6,18	14,04	9,97
2	15,64	6,26	14,24	9,83
Média	15,54	6,22	14,14	9,90

Tabela 6: Inchamento (tempo de duas horas)

Inchamento 02 horas						
No.	Espessura (mm)	Peso (g)	Densidade (kg/m ³)	Peso por superfície (kg/m ²)	Espessura 2h (mm)	Inchamento 2h (%)
1	19,61	5,29	431,62	8,46	27,13	38,35
2	18,71	4,50	384,82	7,20	26,81	43,29
3	20,00	5,21	416,80	8,34	27,94	38,70
4	18,61	4,72	405,80	7,55	26,49	42,34
Média	19,23	4,93	409,76	7,89	27,09	40,92

Tabela 7: Absorção (imersa por duas horas)

Absorção							
No.	Espessura (mm)	Peso (g)	Densidade (kg/m ³)	Peso por superfície (kg/m ²)	Peso 2h (g)	Peso 24h (g)	Absorção 2h (%)
1	19,61	5,29	431,62	8,46	12,25		131,57
2	18,71	4,50	384,82	7,20	11,28		150,67
3	20,00	5,21	416,80	8,34	12,04		131,09
4	18,61	4,72	405,80	7,55	11,93		152,75
Média	19,23	4,93	409,76	7,89	11,88		141,52

Tabela 8: Distribuição da densidade da amostra total (média de duas placas)

Distribuição da densidade						
No.	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Peso (g)	Peso por superfície (kg/m ²)	Densidade (kg/m ³)
Média	97,58	146,70	18,11	110,31	7,71	425,51

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 estão bem próximas comparando com outras resinas utilizadas 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. A viscosidade do amido gelatinizado é necessária, pois facilita a adesão das fibras por ter mais contato com o amido gelatinizado do que com a água da solução.

Os resultados obtidos pelos ensaios realizados no corpo de prova de fibras de madeira mostram que as análises de

inchamento e absorção resultaram em porcentagens elevadas, e um motivo que possa esclarecer esses valores, é o fato de não ter utilizado catalisador e emulsão no processo de colagem das fibras, pois a emulsão possui efeito impermeabilizante e o catalisador deixando-a mais rígida, dificultando a entrada de água na placa, ou seja impermeabilizante. Para comparação, um estudo usando uréia formaldeído como adesivo, com porcentagem de resina entre 6 a 14%, resultou em inchamento entre 7,35 a 31,63; absorção de água entre 19,86 a 61,63%; ruptura dos painéis entre 8,72-33,6 MPa; adesão interna entre 0,09-0,55 MPa (ELEOTÉRIO, 2000). No estudo atual esses valores foram de: inchamento de 38,35 a 43,29; absorção de água de 131,57 a 141,52%; tração superficial

média 0,87 MPa; tração perpendicular (adesão interna) 0,59 MPa. Apesar dos aditivos serem diferentes os valores servem de referência e mostram que a absorção de água deve ser minimizada com o uso de aditivos.

O teor de umidade alcançou resultado dentro das normas da NBR.

A densidade teve resultado pouco inferior ao do MDF convencional, mas a serragem de madeira é um material diferente das fibras de madeira usadas na produção de MDF.

Os valores das resistências de tração perpendicular e superficial foram resultados significativos podendo aumentar, como já mencionado, com a utilização do catalisador que deixaria a placa mais dura e rígida aumentando as resistências.

CONCLUSÃO

Os resultados foram obtidos no processamento de serragem de madeira, e consiste em um indicador de que a tecnologia se aplica a utilização de outros resíduos, como o de MDF e MDP que são materiais provenientes da madeira. O resultado é o indicativo que o amido é um material com perspectivas adequadas para fabricação de painéis utilizando resíduos da indústria moveleira.

O amido de milho gelatinizado aderiu a serragem de madeira fixando as partículas e dando resistência ao material após a sua retrogradação, onde volta a ser cristalino dando adesão às fibras.

As características da placa produzida com adesivo de amido de milho tiveram resultados próximos ao exigido nas especificações normativas, resultados nos quais foram semelhantes aos parâmetros característicos do MDF e MDP.

Os ensaios realizados na placa de fibra de madeira apresentaram densidade de 425,51 Kg/m³, teor de umidade 9,9 %, absorção de água 141,52%, inchamento 40,92%, resistência a tração superficial de 8,64 Kgf/cm² e resistência a tração perpendicular de 5,85 Kgf/cm². A partir destes resultados, verificou-se a possibilidade de produzir chapa de madeira de média densidade, pois a

viabilidade da produção em escala laboratorial mostra a possibilidade de implementação em escala industrial.

Uma sugestão para trabalhos futuros seria a produção com resíduos da produção de MDF utilizando o adesivo de amido de milho conforme a metodologia apresentada nesse trabalho, incluindo no processo de adesão do amido o catalisador e a emulsão, o que pode aperfeiçoar a qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, A. P.; CONDE, J. P.; DAVIS, S. J.; WISE, W. R. (2012), “Starch as a replacement for urea-formaldehyde in medium density fibreboard”. Disponível em: <https://correio.usp.br/service/home/~st-arch-as-a-replacement-for-urea-formaldehyde-in-medium-density-fibreboard.pdf?auth=co&loc=pt_BR&id=32721&part=2>. Acesso em: 19 de setembro de 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2002), Chapas de madeira aglomerada Parte 1: Terminologia. NBR 14810, Rio de Janeiro-RJ.
- BOM, R. P. (2008), Cadeira de painéis de madeira. Processo produtivo de painéis MDF, Centro universitário de União da Vitória, União da Vitória-PR.
- BRAND, M. A.; KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; SILVA, D. A. (2004), “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.
- ELEOTÉRIO, J. R. (2000), Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis de MDF de Diferentes Densidades e Teores de Resina. ESALQ, Piracicaba – SP, 120p. (dissertação de mestrado)
- ESPINOSA, M. M.; JR, C. C. (2000), “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-SP.

- FREIRE, A. L. F., FIGUEIRÊDO, M. C. B., ROSA, M. F., JÚNIOR, C. P. A. (2015), “Impactos ambientais de painéis de madeira e derivados - Uma revisão de literatura”. *Rev. Espacios*, Vol. 36 (Nº 10), p. 3.
- KATSUKAKE, A. (2009), Uma revisão sobre resina Uréia-Formaldeído (R-UF) empregada na produção de Painéis de Madeira Reconstituída. Monografia de Conclusão de Curso. Faculdade de ciências, Departamento de química, Universidade Estadual Paulista, Bauru-SP.
- KOCH, M. R. (2012), “Gestão de resíduos sólidos de uma indústria de aglomerados e moveleira – um olhar para sustentabilidade”. UNIVATES. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/293/1/MarcianoKoch.pdf>>.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE) (2016), Disponível em: <<http://www.sebraeminasdesign.com.br/bl>
- og/novo-mdf-que-utiliza-amido-de-batata-promete-revolucao-no-setor-moveleiro>.
- SILVA, J. E. E. (2013), 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.
- VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. (2014), “Panorama de mercado: painéis de madeira”. *BNDES Setorial*, 40, p. 323-384.
- WILDNER, M. V. (2015), “Reaproveitamento de resíduos da indústria moveleira para aplicação em novos produtos de mobiliário”. UNIVATES. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/867/1/2015MarcusViniciusWildner.pdf>>.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pelo suporte dado à apresentação deste trabalho no ENEMP 2017.