

Proposta para utilização sustentável do pó residual de MDF resultante da produção de móveis

Proposal for the sustainable use of MDF residual powder resulting from furniture production

Luciana Kurack da Silva Misucochi
Universidade Federal do Amazonas
lucianakurack@hotmail.com ✉

Helder Alexandre Amorim Pereira
Universidade Federal do Amazonas
helderamorim@ufam.edu.br ✉

Claudete Barbosa Ruschival
Universidade Federal do Amazonas
claudete@ufam.edu.br ✉

Ana Carolina Correia de Medeiros
Universidade Federal do Amazonas
carolmedeiros.peace@gmail.com ✉

Bruno Raphael de Carvalho Santos
Universidade Federal do Amazonas
brunuph@gmail.com ✉

PROJÉTICA

COMO CITAR ESTE ARTIGO:

MISUCOCHI, Luciana Kurack da Silva; PEREIRA, Helder Alexandre Amorim; RUSCHIVAL, Claudete Barbosa; MEDEIROS, Ana Carolina Correia de; SANTOS, Bruno Raphael de Carvalho. Proposta para utilização sustentável do pó residual de MDF resultante da produção de móveis. **Projética**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 266-290, 2022.

DOI: 10.5433/2236-2207.2020v11n2p266

Submissão: 12-09-20

Aceite: 13-08-21

RESUMO: Os resíduos da indústria moveleira geram grande impacto ecológico. Faz-se necessária a orientação de metodologias de reaproveitamento, sobretudo do pó de MDF, a fim de reduzir o desperdício de material pela indústria. O objetivo geral deste trabalho foi demonstrar a possibilidade de se utilizar o pó de MDF combinado a resina vegetal para produzir um compósito. Esse artigo resume os achados e aponta para realização de novos ensaios com o material e avaliação geral de custos produtivos.

Palavras-chave: Design sustentável, Resíduo de MDF, Reciclagem, Compósito.

ABSTRACT: *The waste from the furniture industry generates a great ecological impact. It is necessary to guide reuse methodologies, especially the MDF powder, to reduce material waste by the industry. The general objective of this work was to demonstrate the possibility of using MDF powder combined with vegetable resin to produce a composite. This article summarizes the findings and points to the performance of new tests with the material and a general evaluation of production costs.*

Keywords: *Sustainable design, MDF waste, Recycling, Composite.*

1 INTRODUÇÃO

O MDF (sigla referente a Medium Density Fiberboard, traduzido, de maneira livre, como Placa de Fibra de Média Densidade) é um material amplamente utilizado para produção de painéis e peças de mobiliário (ABIMOVEL, 2018).

O MDF é uma das matérias primas para produção de móveis; é produzido a partir de fibras de madeira de florestas plantadas (pinus - *Pinus elliottii* e eucalipto - *Eucalyptus grandis*) aglutinadas com resinas, que recebem ação de calor e pressão para sua confecção (IHNÁT et al. 2017). Trata-se de um produto com aspecto visual homogêneo, com maleabilidade, resistência e durabilidade; essas características básicas consolidaram o MDF como substituto da madeira na confecção de peças de mobiliário, para arquitetura e para o design de interiores (ABIMOVEL, 2018).

Trata-se de um produto com aspecto visual homogêneo, com maleabilidade, resistência e durabilidade; essas características básicas consolidaram o MDF como substituto da madeira na confecção de peças de mobiliário, para arquitetura e para o design de interiores.

A Associação Brasileira das Indústrias do Mobiliário (ABIMÓVEL), em seu estudo setorial, menciona que a produção mundial de móveis no ano de 2017 chegou a US\$ 418 bilhões destacando a China como sendo responsável pela produção de móveis em MDF, que conta com 54% da produção mundial. Entretanto, com o crescimento do consumo e da produção de placas de MDF, há geração de resíduos, que, nem sempre são descartados de maneira correta; peças são cortadas de cada placa, gerando pó que é, posteriormente, descartado em aterros sanitários. Esse pó além de conter fibras de madeira também possui formaldeído, elemento bastante tóxico que pode acarretar severos danos ao meio ambiente (ABIMÓVEL, 2018).

Diante dessa problemática, é importante que as empresas e indústrias viabilizem a utilização destes resíduos. Logo, a preocupação ecológica deve se direcionar para redução dos impactos negativos ao meio ambiente (IHNÁT et al. 2017). Justifica-se ainda a importância da reciclagem de materiais para a diminuição do desperdício dos recursos naturais. O desenvolvimento de um material compósito por meio da reciclagem é uma alternativa ambientalmente viável que traz o retorno do resíduo para o mercado.

Esse estudo visa demonstrar a possibilidade de aproveitamento de pó de MDF, descartado por uma empresa de marcenaria. A norma NBR 15.316 guiou o processo de produção do novo material compósito e a realização dos ensaios técnicos.

2 METODOLOGIA PARA LEVANTAMENTO TEÓRICO

Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa científica deve ser metódica e crítica, com o objetivo de fundamentar a análise de um assunto.

Utilizou-se o método de mineração visual de dados para revisão dos trabalhos científicos, conforme proposto por Blum, Merino e Merino (2016), representado pela **Figura 1**.

Figura 1 – Resumo da metodologia de mineração de dados.

MINERAÇÃO DE DADOS: BLUM, MERINO E MERINO (2016)

Fonte: Produzido pelos autores

Como primeira fase, optou-se pela plataforma Science Direct como fonte primária de dados. A segunda fase tratou-se de restringir o tempo de pesquisa entre os anos 2014 a 2019. Selecionaram-se as palavras-chave “MDF, Waste, Composite, Sustainability, Recycling”, utilizando-se o booleano “AND” como interceptor para os termos.

As três primeiras fases geraram um total de 96 resultados entre artigos e capítulos de livros revisados pelos pares. Elegeram-se, inicialmente, trinta artigos de interesse, direcionando-se o pós-processamento de dados. Dessa mineração de dados foi possível se extraírem os seis artigos de maior interesse, por tratarem de assuntos cuja semelhança é maior ao do trabalho ora apresentado, conforme é possível ser visualizado no Quadro 1.

Tabela 1 - Portfólio de artigos selecionados

Ano	Autoria	Palavras Chave
2015	Weber e Iwakiri	Painéis Aglomerados, MDF, Compensados, Resíduos de Painéis
2017	Moezzi pour, Ahmadi Abdolkhani e Doosthoseini	Compensados, Resíduos de painéis, Fibras de Madeira, Processo de Reciclagem, Tratamento Hidrotermal, Resíduos de MDF, Propriedades Químicas
2018	Irle, Privat, Couret, Belloncle, Déroubaix, Bonnin e Cathala	Madeira Recuperada, Reciclagem, MDF, Nano-Cristais, Celulose, Laminados
2018	Inhát, Lübke, Russ e Borůvka	Polpa, Aglomerado de resíduos, OSD, MDF, Fração de Partículas, Formaldeído
2018	Lubis, Hong, Park e Lee	MDF, Reciclagem, Propriedades
2019	Labidi, Korhonenc, Zrida, Hamzaouia e Budtova	Composto de celulose, Fibra Alfa, Stipa Tenacissima, Fibra de Madeira, MDF, Propriedades Mecânicas

Fonte: Produzido pelos autores

Por fim, separou-se também o artigo redigido por Quirino, Santos e Vasconcellos (2017), cujas palavras chaves são “Fibra da semente de Açaí; Compósito laminar; Experimento”. O artigo ora citado foi escolhido por utilizar os mesmo métodos e ensaios que foram utilizados para produção do painel compósito produzido no experimento ora relatado, mesmo não utilizando MDF como material de estudo.

3 PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS A PARTIR DE PÓ DE MDF

Inicialmente, para contextualizar o assunto explorado nesse artigo, é imprescindível que se compreenda o que são os compósitos. Segundo Callister e Retwisch (2015) compósito é qualquer material multifásico com proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, de forma a obter produto com maior qualidade das propriedades mecânicas e físicas.

O MDF é um tipo de painel à base de madeira compostoporcercade80%defibraslignocelulósicas, combinados com um adesivo sintético; estes são unidos sob calor e pressão para formar painéis em processo seco, o que torna a produção do MDF mais barata.

O material produzido neste trabalho se caracteriza como um compósito reforçado pelas fibras de MDF (fibras descontínuas curtas). Esse tipo de compósito, teoricamente, possui maior resistência mecânica e menor densidade (QUIRINO, SANTOS e VASCONCELLOS, 2017). O experimento realizado se define pelo uso de pó de MDF e a resina com base de poliuretano vegetal (do óleo de mamona), bi componente, formulada pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e polioliol (componente B).

O MDF já é um compósito uma vez que se trata de placa de fibra de média densidade, com base em fibras de madeira e misturas ligantes que se conformam através da moldagem por contato e sob pressão (LUBIS et al. 2018). A madeira é um material polimérico natural feito de celulose, hemicelulose e lignina, além de outros elementos que fazem parte desse compósito (MOEZZIPOUR et al. 2017). O MDF é um tipo de painel à base de madeira composto por cerca de 80% de fibras lignocelulósicas, combinados com um adesivo sintético; estes são unidos sob calor e pressão para formar painéis em processo seco, o que torna a produção do MDF mais barata (LABIDI et al. 2019).

Por conseguinte, o descarte de peças de MDF é um problema público: o resíduo de MDF é depositado em aterros ou no lixo comum, sem correta destinação (LUBIS et al. 2018) ou é utilizado como insumo para queima, podendo liberar gases nocivos, por exemplo, a presença de formaldeído (IRLE et al. 2018).

Estudos apontam a viabilidade de se reciclar o MDF como fonte secundária de matéria-prima para produção de fibras (IHNÁT et al. 2018) ou para criar novos compósitos com a mesma finalidade do MDF para exploração econômica (LUBIS et al. 2018) e Irle et al. (2018) anotaram que deve ser encorajada a reciclagem desse material. Há muito desperdício de MDF e atualmente não há uma metodologia comercialmente aplicada para a reutilização dos resíduos de MDF (IRLE et al. 2018). Seguindo a mesma linha argumentativa, Moezzi pour et al. (2017) mencionaram que

anualmente se eleva a taxa de descarte de MDF na natureza (gerada por fábricas de MDF, por móveis e outros itens construídos). Isto posto, se faz imprescindível que se recicle esse tipo de elemento a fim de que se evitem danos à natureza.

No que tange às propriedades mecânicas das fibras recicladas de MDF, Moezzi pour et al. (2017) apontaram que há elevação na alcalinidade das fibras de MDF após a termo-hidrólise das placas de forma que isso torna as fibras potencialmente mais resistentes. Esse fenômeno ocorre devido à pré-existência de resinas nas placas de MDF, que permanecem ligadas às fibras durante a reciclagem (MOEZZIPOUR et al. 2017). No mesmo sentido, Lubis et al. (2018) indicaram que há melhoria nas propriedades relativas à densidade e à espessura quando se usam novas misturas ligantes no processo de reciclagem do MDF, independente da forma que se opta para reciclagem das fibras (seja pela desintegração mecânica, pela hidrólise, pela termo-hidrólise ou pela transformação química em pasta). Labidi et al. (2019) registraram que o processo de reciclagem de MDF se dá pela desintegração mecânica seguida de prensagem seca, que pode causar crosslink entre as fibras de MDF e a mistura de polímeros, provocando uma reação irreversível. No entanto, os resultados mostram que é possível produzir o compósito e que as propriedades mecânicas são aceitáveis; houve redução de nitrogênio nas novas placas e é possível recuperar o formaldeído ao se retirar a cola, contribuindo para redução de gases nocivos à camada de ozônio (LABIDI et al. 2019).

Weber e Iwakiri (2015) avaliaram o potencial de uso de resíduos originados da produção de painéis compensados, MDF e MDP para fabricação de painéis aglomerados. Nos resultados e discussão, perceberam que os valores médios de densidade de painéis produzidos a partir de partículas de MDF é 740 Kg/m³, com teor de umidade média de 7,42%, dentro da tolerância máxima da norma, que é de ± 7%; o valor médio de absorção de água em 24 horas 17,45% e Inchamento em espessura 8,65%. Seguiram então com os testes de ruptura (7,86 Mpa), de elasticidade (1158,75 Mpa), de tração superficial (0,26 Mpa) e de arrancamento

de parafuso (superfície 723,73 Mpa e topo 621,74 Mpa). O módulo de elasticidade mínimo indicado pela norma é de 1800,00 Mpa, assim os ensaios demonstram uma redução percentual de 64% no módulo de elasticidade. Houve aumento considerável de 80% para a tração superficial e para os ensaios de arrancamento de parafuso (na casa de 50%). Também se registrou aumento com relação à ruptura (Weber e Iwakiri, 2015).

Tomando como base o estudo realizado por Weber e Iwakiri (2015), utilizou-se processo similar para produção de compósito a partir do pó de MDF (partículas granulares finas que advenham de processo de moagem ou trituração) resultante do corte de peças em serraria. Demonstram-se, nesse artigo, os resultados dos seguintes ensaios: determinação de retilineidade; determinação da espessura, do comprimento e da massa dos corpos de prova; determinação da densidade; determinação de umidade; e determinação do inchamento por 24 horas.

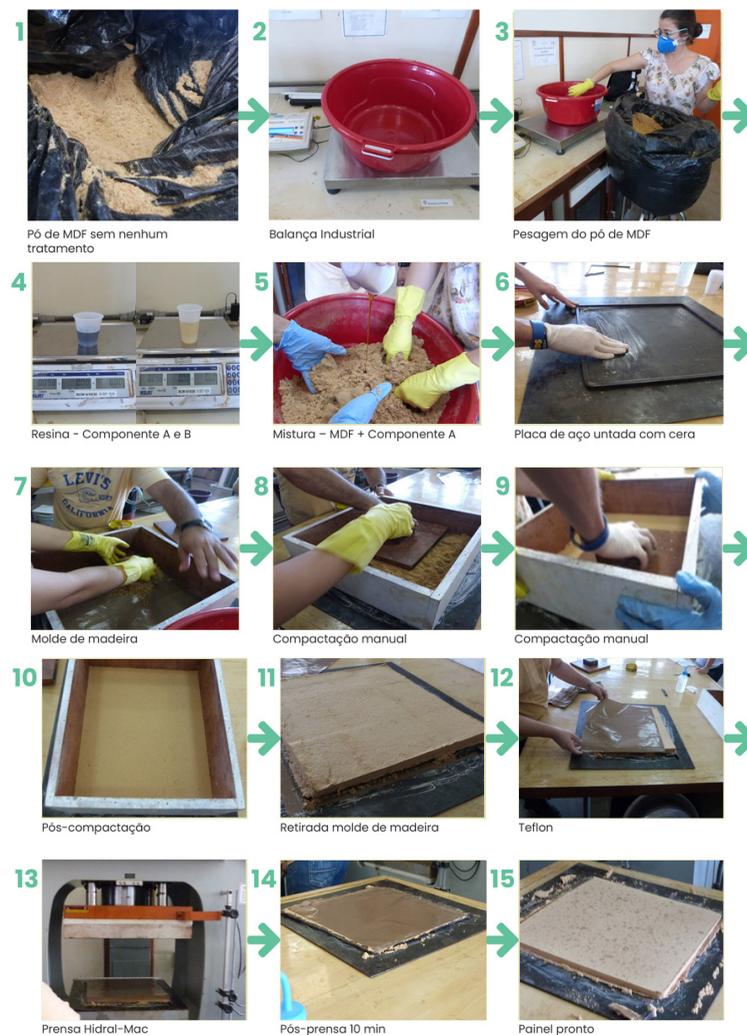
4 EXPERIMENTO DE CONFECÇÃO DE COMPÓSITO A PARTIR DO PÓ DE MDF

Para a produção do compósito desse experimento, foi coletado o pó de MDF (partículas finas resultantes do corte de placas do material) descartado por uma empresa de móveis modulados. A coleta de pó de MDF foi realizada sem qualquer seleção, para que o pó de MDF utilizado não tivesse qualquer interferência externa anterior ao experimento. O saco contendo o pó de MDF (Figura 2, item I) foi transportado para o Laboratório de Materiais LaMAC, na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, onde iniciou-se a primeira fase do processamento do pó de MDF.

O experimento de produção do compósito foi realizado no dia primeiro de abril de 2019. Dessa forma, para confeccionar um painel de medidas nominais de 40 mm de largura por 40 mm de comprimento e 10 mm de espessura, foram utilizados 1300g de pó de MDF (85%), e 196g de resina vegetal (15%). Inicialmente o pó de MDF

foi disposto em uma bacia cilíndrica na balança industrial (características: KNWAGEN / KNCD – 200/5, d = 5g; e =20g, Max 200Kg / Min 250g) e pesado (Figura 2, itens 2-3). Misturou-se ao pó de MDF uma proporção de 1/1 entre polioli e pré-polímero (Figura 2, item 4). Procedeu-se à mistura manual do compósito, intercalando com o polioli e o pré-polímero por aproximadamente 10 minutos (Figura 2, item 5).

Figura 2 - Etapas de produção do projeto-piloto.



Fonte: Autores.

Finalizada a homogeneização, a mistura foi disposta em uma placa de aço pré-tratado com cera de carnaúba e folha de teflon, a fim de facilitar a desmoldagem (**Figura 3**, item 6), e, com o auxílio de um molde de madeira, foi compactado manualmente (**Figura 3**, item 7). Após a compactação, o molde de madeira foi retirado e uma folha de teflon foi disposta em cima da mistura resultante (**Figura 3**, item 13), transferindo-se a placa para a prensa, em que, através do método de compressão a quente (Prensa Hidral-Mac-PHH 1007, características: potência de 6.5 Kw; tensão de 220 v; 60 Hz; 20 Amperes, capacidade do reservatório de 50 litros), foi prensada por 10 minutos - pressão de 10 MPa e temperatura de 100 5 °C (G). Concluído os 10 minutos, esperou-se o resfriamento da placa por 15 minutos para desmoldá-la, obtendo-se o resultado de uma placa de compósito visualmente firme. A **Figura 3**, ilustra todas as supracitadas etapas de produção do painel. O painel resultante do experimento gerou um produto final cujas características se alinham a um painel de alta densidade.

Para estabilização e cura, a placa foi embalada e esperou-se por tempo de 72 horas para manuseá-la (**Figura 3**). Finalizado o período de cura, a placa se apresentou rígida e estável.

Figura 3 – Resultado: a) placa resultante do processo de prensagem, após 15 minutos de descanso, e b) placa de compósito depois de 72 horas de cura em temperatura ambiente.



Fonte: Autores.

5 TESTES LABORATORIAIS DO COMPÓSITO PRODUZIDO

Após a confecção do compósito, foram realizados os seguintes ensaios: a) ensaio de determinação de retilineidade; b) ensaios de determinação da espessura, do comprimento e da massa dos corpos de prova; c) ensaio de determinação da densidade; d) ensaio de determinação de umidade; e) ensaio de determinação do inchamento por 24 horas. O plano de amostragem para seleção das amostras a serem testados no Ensaio de Determinação de Umidade e no Ensaio de Determinação do Inchamento por 24 horas, foi de amostras aleatórias simples sem reposição em que cada um dos 42 corpos de prova (conforme pode ser verificado na seção 5.3) podia ser selecionado com a mesma chance (1/42). Optou-se pelo método de amostra aleatória simples sem reposição, em que o item, após selecionado, não retorna para população, não permitindo a possibilidade de selecionar o mesmo corpo de prova para mais de um ensaio (LEVINE, STEPHAN e SZABAT, 2005).

5.1 Ensaio de determinação de retilineidade

Figura 4 – Ensaio de retilineidade e confecção dos corpos de prova.



Fonte: Autores.

Esse ensaio foi realizado na Empresa Comoditá Modulados. Os instrumentos utilizados foram: paquímetro analógico 6" Zaas Precision (características: capacidade de medição de 0 a 150 mm; graduação de 1/128" 0,05 mm; exatidão de aproximadamente $\pm 0,05$ mm), escala 500mm em aço inox Zaas Precision (características: capacidade de 500mm/20"; graduada em milímetros e polegadas; espessura rígida) e linha de náilon Fastline Onix 0,5 mm (**Figura 4**).

As medidas entre as 4 extremidades foram de: 0,2mm e 0,4mm, com a medida C é dada por 0,40mm X 0,40mm. Foi obtido o resultado de R1 0,48 mm/m e R2 0,97 mm/m. Uma vez que o limite normativo de retilineidade é $\leq 1,5$ mm/m, o ensaio foi bem sucedido no padrão estabelecido pela norma técnica. O ensaio foi realizado no dia 21/05/2019, conforme Anexo E da norma NBR 15316-2:2015.

5.2 Ensaio de determinação da espessura, do comprimento e da massa dos corpos de prova

Foram obtidas 42 amostras a partir do painel, cada um com largura de 50mm e comprimento de 50mm para realização dos ensaios de medição no Laboratório de Engenharia de Materiais da Faculdade Martha Falcão. Empregaram-se os seguintes equipamentos: paquímetro analógico 6" Zaas Precision (características: capacidade de medição de 0 a 150 mm; graduação de 1/128" 0,05 mm; exatidão de aproximadamente $\pm 0,05$ mm), escala 300mm em aço inox Zaas Precision (características: capacidade de 300mm; graduada em milímetros; espessura rígida), Micrômetro externo MXRL-25 Starrett (características: capacidade de 0-25mm, resolução de 0,01mm, pontas de contato de metal duro, barra-padrão de ajuste a partir de 25-50mm, trava tipo alavanca e catraca, exatidão $\pm 0,003$ mm), Balança Marte modelo M3304 (características: Max 30Kg, min 5g; d = 1g; e = 10g). O ensaio foi realizado no dia 29/05/2019, conforme Anexo B e Anexo C da norma NBR 15316-2:2015.

A tolerância descrita pela norma para largura e para o comprimento é de ± 5 mm; a tolerância para espessura é de $\pm 0,30$ mm. A mediana encontrada para as espessuras dos 42 corpos de prova foi de 9,995mm com moda para a espessura de 10,00mm, e com média de 9,993mm. A média de massa foi de 23,428g, com mediana de 23,00g e moda de 24,00g para os corpos de prova avaliados. Nenhuma das unidades testadas ultrapassou os limites descritos pela norma, restando que todos os corpos de prova estavam aptos para realização de outros testes, dada sua equivalência estatística com nível de erro de 5%, segundo o teste de Mann-Whitney (WILD e SEBER, 2004).

5.3 Ensaio de determinação da densidade

Os 42 corpos de prova foram submetidos aos testes de densidade no Laboratório de Engenharia de Materiais da Faculdade Martha Falcão (Figura 5). Os instrumentos utilizados foram: paquímetro analógico 6" Zaas Precision (características: capacidade de medição de 0 a 150 mm; graduação de 1/128" 0,05 mm; exatidão de aproximadamente $\pm 0,05$ mm), escala 300mm em aço inox Zaas Precision (características: capacidade de 300mm; graduada em milímetros; espessura rígida), Micrômetro externo MXRL-25 Starrett (características: capacidade de 0-25mm, resolução de 0,01mm, pontas de contato de metal duro, barra-padrão de ajuste a partir de 25-50mm, trava tipo alavanca e catraca, exatidão $\pm 0,003$ mm), Balança Marte modelo M3304 (características: Max 30Kg, min 5g; d = 1g; e = 10g). Para se descobrir o volume é necessário multiplicar-se as dimensões lineares do corpo de prova (L x C) e a espessura, em milímetros, de cada corpo de prova. A tolerância descrita pela norma em relação a densidade média é de $\pm 7\%$. O ensaio foi realizado no dia 29/05/2019, conforme Anexo G da norma NBR 15316-2:2015.

O valor médio de volume entre os corpos de prova é 25012,50mm³, com moda do volume é 25000,00mm³ enquanto a mediana do volume é 25000,00mm³.

A moda para o valor de densidade das 42 amostras foi de 960,00 Kg/m³ e a mediana dos valores foi 919,08 Kg/m³. Tendo-se que a média aritmética do valor das densidades é 936,65 Kg/m³, passou-se a calcular a variação percentual da densidade (D%) para cada um dos corpos de prova a fim de determinar se todos estavam adequados ao limite assinalado na norma (7%).

A partir desses resultados foi possível excluir os corpos de prova 8, 25 e 34 do experimento seguinte, uma vez que não se encontravam adequados ao estabelecido limite pela norma. D% média é - 1,86% com moda de -1,05% e Mediana de 2,8%. Na faixa negativa de D%, com média de - 4,76%. Na faixa positiva de D%, com média de +3,69%. Dessa forma, fez-se o teste estatístico de comparação de médias (Teste de Tukey) que determinou que as médias encontradas foram estatisticamente equivalentes (WILD e SEBER, 2004).

Figura 5 – a) esquadrejamento do painel; b) 10 corpos de prova extraídos; c) e d) aferição de peso e medidas; e) aferição medidas após 24h.



Fonte: Autores.

5.4 Ensaio de determinação de umidade

Esse ensaio demanda 24 horas para a captação de umidade e mais 24 horas para a secagem após o ensaio e foi realizado no Laboratório de Engenharia de Materiais

da Faculdade Martha Falcão (**Figura 6**). Foram escolhidos, de maneira aleatória, dez amostras: 06, 09, 12, 13, 15, 23, 24, 30, 31 e 39. As ferramentas usadas foram: paquímetro analógico 6" Zaas Precision (características: capacidade de medição de 0 a 150 mm; graduação de 1/128" 0,05 mm; exatidão de aproximadamente $\pm 0,05$ mm), escala 300mm em aço inox Zaas Precision(características: capacidade de 300mm; graduada em milímetros; espessura rígida), Micrômetro externo MXRL-25 Starrett, (características: capacidade de 0-25mm, resolução de 0,01mm, pontas de contato de metal duro, barra-padrão de ajuste a partir de 25-50mm, trava tipo alavanca e catraca, exatidão $\pm 0,003$ mm), Balança Marte modelo M3304 (características: Max 30Kg, min 5g; d = 1g; e = 10g), Câmara Climática (características: capacidade 200 Litros, faixa de operação de 20°C a 50°C / 30% a 90%UR, 220 Volts, SPLabor), estufa a vácuo microprocessada digital (características: capacidade 27 litros, temperatura 10°C acima do ambiente até 200°C, 220 volts, SPLabor). A tolerância de umidade de compósito seco é de 5% a 13%, admitindo-se teores de umidade menores quando for possível. O ensaio foi realizado nos dias 06/06/2019, 07/06/2018 e 08/06/2019, conforme Anexo F da norma NBR 15316-2:2015.

Figura 6 – Aferição medidas após 24h do ensaio de absorção.



Fonte: Autores.

O valor médio da umidade após a submersão é de 22,52%, utilizando a média aritmética para Massa Seca (MS) de 22,90g e para Massa Úmida (MU) de 27,60g. Para efeito de comparação, a massa média dos corpos de prova após 24 horas de secagem foi de 23,80g, registrando-se um aumento de umidade de 3,93% em relação aos corpos-de-prova pré-experimento. A relação entre o teor de umidade após 24 horas de submersão e após 24 horas de secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ foi de 3,93%, tendo em vista que a tolerância à umidade do composto seco é de 5% a 13%, os corpos de prova têm teores de umidade muito mais baixos, atendendo à especificação da norma técnica.

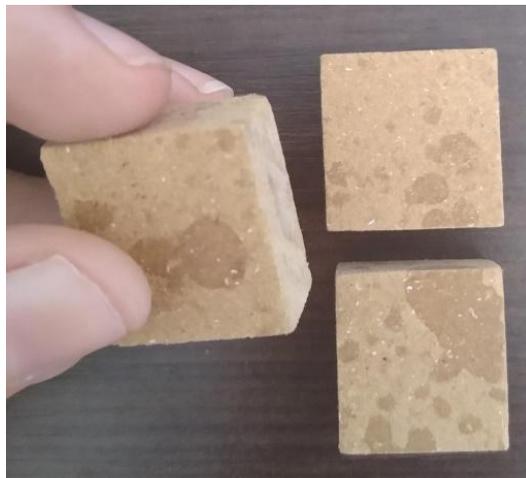
Comparando as médias de massa, o evento A (massa pré-experimento) obteve uma média de 22,90g de massa. A média é de 27,60g para massa no evento B (massa após 24 horas de submersão). A média para o evento C (massa após 24 horas de secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$) foi de 23,80 g para a massa. A mediana para o evento A foi de 23,00g, repetindo o valor obtido na **seção 5.2**, enquanto a moda foi de 23,00g, uma redução percentual de 4,34%. Para o evento B, a moda foi de 28,00g, um aumento percentual de 16,66% em relação ao valor obtido na **seção 5.2**. Para o evento B, observou-se mediana de 27,00g, aumento percentual de 17,39% em relação ao valor obtido no item 5.2. Para o evento C, também foi observada mediana de 24,00g e moda de 24,00g, modo em que repetiu o valor encontrado no **item 5.2**, enquanto a mediana obteve aumento percentual de 4,34%.

Com esses resultados foi possível fazer os testes estatísticos adequados por meio do teste de Mann-Whitney para massa, com nível de erro de 1%. Cada teste de Mann-Whitney foi realizado entre as fases A-B, B-C e A-C para não rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias de A, B e C com nível de erro de 1% (WILD e SEBER, 2004).

5.5 Ensaio de determinação do inchamento por 24 horas

Para o ensaio de inchamento por 24 horas foram escolhidos, de maneira aleatória, dez corpos de prova: 03, 07, 14, 17, 22, 26, 35, 38, 40 e 41. Houve emprego dos seguintes instrumentos: Micrômetro externo MXRL-25 Starrett (características: capacidade de 0-25mm, resolução de 0,01mm, pontas de contato de metal duro, barra-padrão de ajuste a partir de 25-50mm, trava tipo alavanca e catraca, exatidão $\pm 0,003\text{mm}$) e Câmara Climática (características: capacidade 200 Litros, faixa de operação de 20°C a 50°C / 30% a 90%UR, 220 Volts, SPLabor). O resultado é a média dos inchamentos dos corpos de prova analisados, expresso em porcentagem com precisão de 0,1%. A tolerância de inchamento após 24 horas de submersão é de 22%, admitindo-se inchamento inferior se possível. O ensaio foi realizado nos dias 10/06/2019 e 11/06/2019, conforme Anexo L da norma NBR 15316-2:2015.

Figura 7 – Blocos de prova depois de 72h secos.



Fonte: Autores.

O valor médio para a espessura de cada um dos corpos de prova foi obtida através dos cálculos pertinentes, tendo como resultado: 03 = 11,09mm; 07 = 11,58mm; 14 = 11,47mm; 17 = 11,19mm; 22 = 11,38mm; 26 = 12,00mm; 35 = 11,524mm; 38 = 11,97mm; 40 = 11,55mm; 41 = 11,33mm; o valor médio é de 11,1372%, valor admitido pela norma por ser inferior a 22%. O limite para uso em condições úmidas é de $\pm 13\%$, o que permite o uso desse painel nessas condições (Figura 7).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os ensaios relacionados na **seção 5** utilizaram como base as regras da norma NBR 15316-2:2015. Deve-se ter claro, no entanto, que o painel produzido nesse experimento não se configura como painel de MDF, caracterizando-se como compósito reforçado por fibras descontínuas curtas (fibras de MDF, sem tratamento para retirada de formaldeído).

Os ensaios tiveram resultados condizentes com as características apresentadas pela norma NBR 15316-2:2015. O ensaio de retilineidade obteve resultado positivo com desvios de R1 0,48 mm/m e R2 0,97 mm/m, dentro da tolerância de ± 5 mm. A medição de espessuras também obteve um resultado satisfatório, menor que a tolerância de $\pm 0,30$ mm. A mediana encontrada para as espessuras dos 42 corpos de prova foi de 9,995 mm, com moda de 10,00 mm e média de 9,993 mm, restando que a variação de espessura foi de $\pm 0,06$ mm, condizente com a tolerância de variância de espessura normativa.

O ensaio de densidade demonstrou que o compósito é um painel de alta densidade, com valor superior ao mencionado na norma em percentual de $\pm 1,86\%$ ($936,65 \text{ Kg/m}^3$ ou $0,94 \text{ g/cm}^3$). O resultado do ensaio de absorção de água em 24 horas também foi satisfatório, com elevação média do teor de umidade de 3,93%.

A norma recomenda inchamento, após 24 horas de submersão de 22% ou menos; o ensaio obteve valor médio de 13,172%, o que admite o uso do painel até mesmo em condições úmidas. A **Figura 8** resume as características essenciais da placa de compósito resultante dos experimentos.

Figura 8 – Placa resultado do experimento e suas características.



Fonte: Autores.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dos ensaios, percebeu-se que o material criado neste experimento possui características satisfatórias de retineidade, de espessura, de densidade, de umidade e de absorção de água valores dentro das exigências normativas. Dessa forma é possível aplicar esse compósito para experimentos futuros, visando a concepção de novos produtos. Contudo, para conseguir atingir esse objetivo, é

necessário realizar novos ensaios em conformidade com a norma NBR 15316:2015, especialmente para determinar o teor de formaldeído, a resistência à tração perpendicular e tração superficial, à flexão estática e módulo de elasticidade e ao arrancamento de parafusos.

Sugere-se avaliar o custo do processo de fabricação do compósito. Por fim, é importante se realizar pesquisas que apliquem os conceitos do design para desenvolver novos produtos que se beneficiem das características do material compósito produzido.

Associação Brasileira das indústrias do mobiliário. **Relatório Setorial da Indústria de Móveis no Brasil**. São Paulo, v.13, Agosto, 2018.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15316- 1 – **Painéis de fibras de média densidade- Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15316: **Painéis de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BLUM, A. MERINO, E. A. D. MERINO, G. S. A. D. **Método visual para revisão sistemática em Design com base em conceitos da Mineração de Dados**. DA-Pesquisa, v.11, n.16, p.124- 139, 2016. DOI: 10.5965/1808312911162016124.

CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2015.

IHNÁT, V. LUBKE, H. RUSS, A. BORŮVKA, V. **Waste agglomerated wood materials as a secondary raw material for chipboards and fibreboards**. Part I. Preparation and characterization of wood chips in terms of their reuse. *Wood research*. 62. 45-56. 2017.

IRLE, M. PRIVAT, F. COURET, L. BELLONCLE, C. DÉROUBAIX, G. BONNIN, E. CATHALA, B. **Advanced recycling of post-consumer solid wood and MDF**. *Wood Material Science & Engineering*, 1-5. 2018. DOI: 10.1080/17480272.2018.1427144.

LABIDI, K. KORHONEN, O. ZRIDA, M. HAMZAOU, A. H. BUDTOVA, T. **All-cellulose composites from alfa and wood fibers**. *Industrial Crops and Products*, 127, 135-141. 2019. DOI: 10.1016/j.indcrop.2018.10.055.

LEFTERI, C. **Como Se Faz: 92 técnicas de fabricação para design de produtos.** 2ª edição. São Paulo: Ed. Blucher, 2013.

LEVINE, D. M. STEPHAN, D. F. SZABAT, K. A. **Estatística: teoria e aplicações / David M. Levine... [et al.]; tradução de Teresa Cristina Padilha de Souza. – Original: Statistics for managers using Microsoft Excel.** LTC: Rio de Janeiro, 2005.

LUBIS, M. A. R. HONG, M.-K. PARK, B.-D. LEE, S.-M. **Effects of recycled fiber content on the properties of medium density fiberboard.** *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(5), 1515–1526. 2018. DOI: 10.1007/s00107-018-1326-8.

MOEZZIPOUR, B. AHMADI, M. ABDOLKHANI, A. DOOSTHOSEINI, K. **Chemical changes of wood fibers after hydrothermal recycling of MDF wastes.** *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 14(2), 133–138. 2017. DOI: 10.1007/s13196-017-0198-6.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. D. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** 2a. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUIRINO, M. G. SANTOS, P. A. B. S. VASCONCELLOS NETO, L. G. M. **Compósito laminar produzido com a fibra da semente do açaí (Euterpe precatoria).** *Laminar composite produced with açaí seed fiber (Euterpe precatoria).* II Congresso Internacional e VIII Workshop: Design & Materiais (2017).

WEBER, C. IWAKIRI, S. **Utilização de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados.** *Ciência Florestal, Santa Maria*, v. 25, n. 2, p. 405–413, 2015.

WILD, C. J. SEBER, G. A. F. **Encontros ao acaso: primeiro curso de análise e inferência de dados.** Tradução: Cristiana Filizola Carneiro Pessoa; Djalma Galvão Carneiro Pessoa. – LTC: Rio de Janeiro, 2004.