

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS PÓS-CONSUMO DA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Amanda de Andrade Prioli ¹; Julia de Campos Palma ¹; Viviane Tavares de Moraes ²

¹ Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. A indústria de móveis gera cerca de 19.255.000 m³/ano de resíduos de madeira com potencial para reciclagem de materiais. A diversidade de materiais, processamento, acabamentos e contaminação dos móveis pós-consumo são fatores que influenciam na seleção de processos de reciclagem. As pesquisas mais exploradas de móveis pós-consumo visam o reaproveitamento energético, através da calcinação dos resíduos, sem levar em consideração as emissões atmosféricas provenientes desta queima. Este projeto visa minimizar a destinação final de resíduos de *Medium Density Fiberboard* (MDF) através do desenvolvimento de um compósito de MDF reprocessado. Para tanto fez-se a coleta de MDF cru produzidos por corte a laser, em seguida o material foi triturado em moinho de facas e quarteado. O resíduo de MDF triturado foi misturado com resina poliéster nas proporções mássicas de 1 para 3 de resina poliéster. A partir da formulação foi feito um compósito de 3 a 4 mm de espessura, onde também foi desenvolvido corpos de prova para a realização de ensaios mecânicos, tais como ensaio de tração, flexão e impacto, para determinação das propriedades do compósito de MDF. Os resultados esperados são a identificação das proporções ideais entre resina e MDF triturado e a resistência a impacto, tração e flexão determinadas pelos ensaios mecânicos.

Introdução

A indústria moveleira no Brasil, assim como no mundo cresceu muito ao longo dos últimos anos, um estudo feito em 2008 pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES afirma que a produção de painéis no Brasil foi de 7,7 milhões de m³ em 2005, um aumento de 9,5% desde 1995 ¹.

Ao mesmo tempo que a reciclagem e o reaproveitamento de materiais vem sendo tema de discussões no mundo todo, onde a maioria dos projetos de produtos são desenvolvidos possuindo vertentes sustentáveis, no Brasil a grande maioria dos resíduos moveleiros das indústrias não possuem uma destinação correta. Em Belo Horizonte o polo moveleiro gera 298 toneladas de resíduos, os quais apenas 16% têm destinação correta, o restante é estocado de maneira inadequada ².

A reciclagem e o reaproveitamento de materiais são tema de discussões no mundo todo. A maioria dos projetos de produto são desenvolvidos possuindo vertentes sustentáveis, seja em economia de energia, baixo impacto ambiental na produção, ou com a utilização de fibras naturais ou materiais reciclados. Além de ser positivo para a preservação de recursos naturais é considerado diferencial competitivo no mercado.

Uma melhor compreensão do processo de acabamento estético do ponto de vista ambiental pode contribuir para seu sucesso em termos de mercado, além de fornecer uma base científica para o desenvolvimento de novos materiais, processos e usos para matérias primas comuns, visando uma melhor adequação ao futuro dos projetos de design, economia circular e gestão dos materiais de construção.

A partir disso o estudo baseou-se em desenvolver um novo material de compósito, por meio de resíduos gerados por indústrias moveleiras, buscando além de sustentabilidade, resistência e melhor custo benefício em termos de produção dos novos painéis. Para tal, foram feitos teste com e sem tratamento químico, mercerização, um processo que promove um aumento da rugosidade superficial da fibra, podem favorecer a ancoragem mecânica da mesma.

Segundo Maloney (1996) pode-se obter um compósito a partir de MDF em pó com resina. Neste estudo foi considerado também as propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massas específicas com teores de resina ³, cujo processo principal foi a moagem e prensa a quente, resultando em painéis com densidades de 500 kg.m⁻³ a 800 kg.m⁻³.

Uma das resinas que podem ser utilizadas no processo de laminação do MDF reciclado é a resina poliéster que tem como característica facilidade de manusear, baixo custo e apresenta boas propriedades químicas e mecânicas.

Materiais e Métodos

Considerando os objetivos do estudo em questão que foram identificar os processos de reciclagem de MDF pós consumo a fim de se produzir um compósito com resíduos de móveis tratados, além de estudar as propriedades mecânicas deste compósito resultante. Para isso se estabeleceu a metodologia:

- Coleta e seleção dos resíduos de MDF provenientes do corte a laser;
- Processamento mecânico: recorte do material para entrada no triturador e moinho; trituração e moagem dos resíduos de MDF;
- Laminação e definição da relação resíduos moído e resina;
- Ensaio mecânicos.

Estes processos resultaram em tópicos de seleção de resíduos de MDF, processamento mecânico, laminação e ensaios mecânicos.

A) Seleção de resíduos de MDF

Foram selecionados os resíduos de MDF sem acabamento superficial, isso é, o MDF cru, como é a nomenclatura deste material comercializado. Estes resíduos tiveram origem no FabLab do Instituto Mauá de Tecnologia durante o ano de 2018.

O lote de resíduo foi pesado.

B) Processamento mecânico

Após a pesagem, o material foi recortado em tiras de no máximo 4 cm de largura, para que se adaptassem a abertura de alimentação do equipamento utilizado em seguida, o triturador de facas. Neste triturador não se fez o uso de grelha e o material resultante é um MDF triturado grosseiro, para permitir a entrada do material no moinho de facas tipo Willey com grelha para controlar a granulometria final do resíduo. A grelha utilizada no moinho Willey foi com abertura de 1mm.

Após os processos de moagem, foi feito o quarteamento, para manter a homogeneidade do material.

Cada fração quarteada foi testada previamente para se definir qual a melhor relação resíduo e resina. Com uma fração quarteada foi realizado o ensaio granulométrico para determinar a faixa média do tamanho de partícula.

C) Preparação do compósito com resíduo de MDF

Para a preparação do compósito com MDF foram realizados dois processos diferentes, a mistura de resíduo com resina poliéster (MR) e a mistura do resíduo com tratamento químico de mercerização com a resina poliéster (MM), a fim de comparação de resultados e assim identificar o tratamento mais vantajoso em termos de resistência e custo benefício. Amostras somente de resina (R) foi produzida em molde silicone previamente preparado e de MDF comercial produzidas já com as dimensões para a realização dos ensaios de flexão, tração e impacto. Tanto as amostras de resina quanto a de MDF comercial são analisadas para efeito comparativo dos ensaios mecânicos realizados com o MDF reprocessado com resina e do MDF mercerizado e reprocessado com resina.

D) Ensaio mecânicos

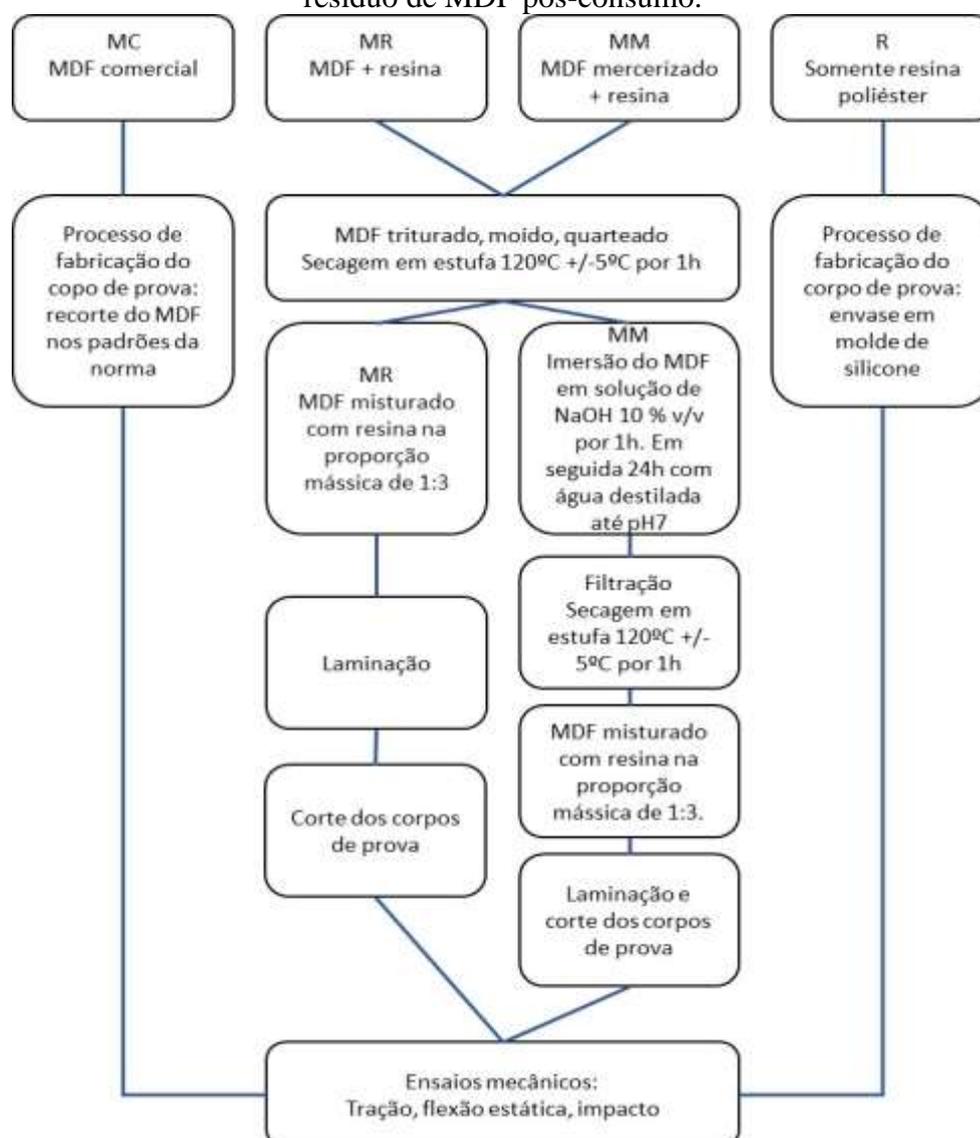
Todas as amostras denominadas MC, MR, MM e R foram submetidas aos ensaios mecânicos para efeito comparativo.

O MC representaria as propriedades mecânicas ideais para se utilizar o compósito fabricado com o resíduo de MDF e a amostra R representaria as propriedades mecânicas intrínsecas da resina.

Os corpos de prova seguiram as normas ASTM D-7264⁴ teste de flexão em compósitos, ASTM D-3039⁵ teste de tração em compósitos e ASTM D-256⁶ para testes de impacto.

O resumo dos processos e da nomenclatura das amostras estão no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma de resumo dos processos de fabricação do compósito a partir do resíduo de MDF pós-consumo.



O resíduo de MDF triturado com resina poliéster (MR) teve como pré-tratamento a secagem em estufa durante 1h a 120 °C +/- 5°C, para retirar umidade do material cominuído e posteriormente misturado com a resina poliéster. A resina utilizada foi da marca Resinfiber, resina 603 – cristal, com amperox como catalizador.

O processo de mercerização, segundo a Figura 2, foi feito com NaOH 10% em massa em seguida imergiu o MDF triturado durante 1 hora, filtrou-se e foi colocado em água destilada com pH 7,0 durante 24 horas e por fim o MDF foi secado em uma estufa a 120°C +/-5°C por 1 hora, para assim poder receber a resina poliéster.

Na confecção das novas placas com MDF reprocessado foi utilizada uma proporção mássica de 1:3 com 3% de catalisador amperox ou 50g de MDF para 150g de resina poliéster e 4,5g de catalisador. Considerando as densidades do MDF e resina poliéster, respectivamente, $6,1 \times 10^5 \text{ g/m}^3$ e $1,1 \times 10^6 \text{ g/m}^3$, utilizou-se, em volume, $8,2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ de MDF e $1,4 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ de resina poliéster.

A mistura já homogeneizada foi colocada em um molde vazado largura e comprimento de 20 cm x 20 cm, com espessura de 0,6 mm, envolvido com saco plástico acoplado a bomba a vácuo. Após a retirada do ar com a bomba a vácuo se iniciou a prensagem mecânica manual até o máximo de torque durante 2h para a confecção da nova placa de MDF reprocessado.

Resultados e Discussão

A) Seleção de resíduos de MDF

Foram coletados aproximadamente 2 kg de resíduo de MDF que passaram pela cortadora a laser.

Os resíduos foram cortados na serra de bancada em pedaços de aproximadamente 4 cm de largura para serem processados no triturador de facas.

B) Processamento mecânico

As imagens do MDF na sequência do processamento mecânico estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Resíduo de MDF nas etapas do processamento mecânico



Resíduo de MDF da cortadora a laser

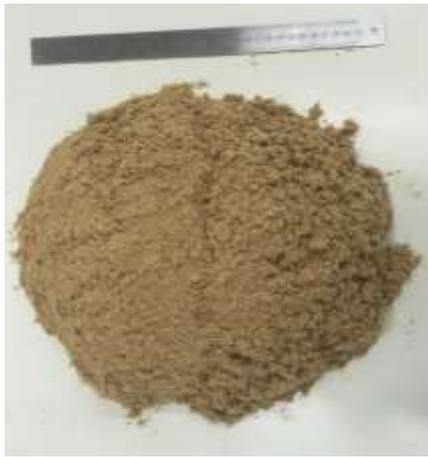


1ª Etapa: MDF no triturador de facas



2ª Etapa: MDF no moinho tipo Willey

Cont. Figura 3 – Resíduos de MDF nas etapas de processamento mecânico



3ª Etapa: MDF triturado

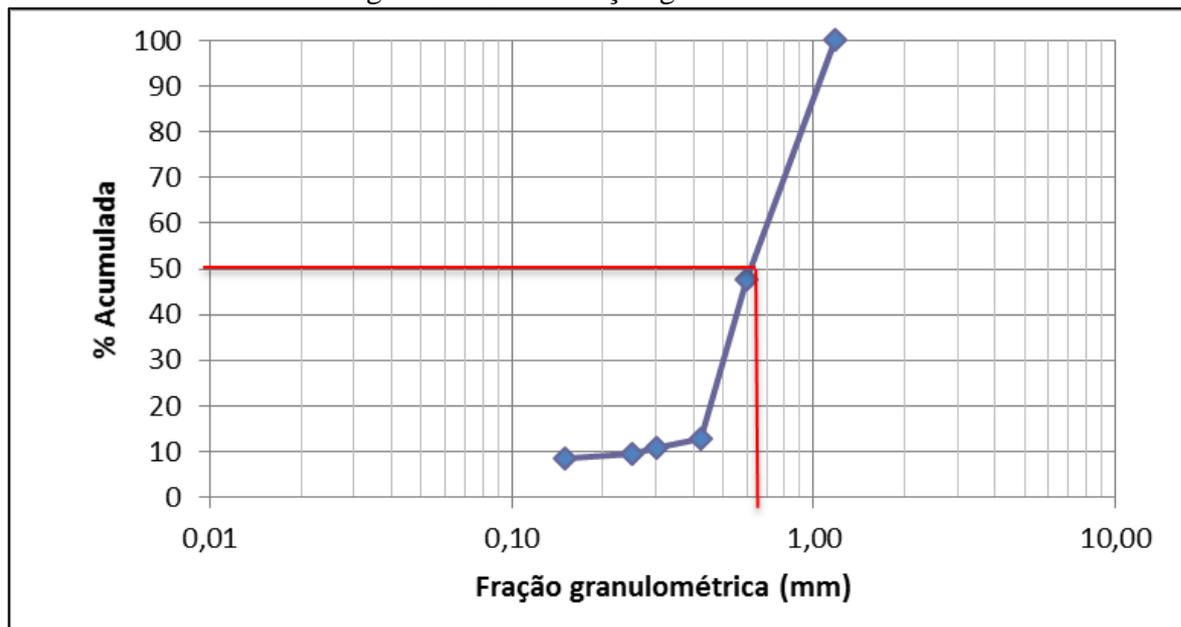


4ª Etapa: MDF quartado

Ao total foram obtidas 16 amostras de massa aproximada 50 g, o restante do resíduo foi armazenado para contra-prova.

Algumas frações seguiram para o processo de laminação e uma amostra foi submetida ao ensaio granulométrico, conforme Figura 3.

Figura 3 – Classificação granulométrica



Pode-se observar que a faixa granulométrica de 50 % do material cominuído está entre 0,6 mm a 1,18 mm.

Segundo Weber (2011) ⁷ a produção de painéis com partículas na faixa entre 0,84 mm a 2,00 mm apresentam desempenho físico-mecânico satisfatórios.

E) Preparação do compósito fabricado com resíduo de MDF

O processo de fabricação foi realizado com a prensa manual e o compósito produzido a partir do MDF triturado estão apresentados na Figura 4 A e B, respectivamente.

Figura 4 – Exemplo da prensa manual e do compósito produzido a partir do resíduo de MDF



A- Prensa manual



B- Compósito com resíduo de MDF

Tanto o compósito de MDF com resina (MR) quanto o MDF mercerizado com resina (MM) passaram pelo mesmo processo. As amostras de MDF comercial (MC) e de resina (R) passaram pelos mesmos ensaios mecânicos para comparar com os resultados obtidos nas amostras MR e MM.

Os resultados foram comparados com duas bases de referências, sendo essas, amostra de MDF comercial (MC) e corpo de prova de resina pura (R). A partir disso pôde-se observar, segundo a tabela 7, que em relação a tensão à flexão tanto o MDF tratado quimicamente (MM) e o não tratado (MR) apresentaram maior tensão com relação ao MC e o mesmo foi observado para a resistência à tração, sendo que os valores para o MDF tratado e não tratado quimicamente são muito próximos, o que possibilitou concluir que o processo de mercerização não contribuiu para melhor desempenho mecânico.

Em relação a resistência ao impacto nenhum dos MDFs reprocessados apresentaram resistência próxima da encontrada em MDF comercial.

A rota de reciclagem de MDF pós consumo pode-se iniciar com a moagem do material; preparação de novo painel de MDF com resina poliéster sem tratamento químico por mercerização. Contudo devido a sua baixa resistência ao impacto não se pode utilizar o MDF reprocessado para peças estruturais, somente se recomenda o uso para aplicações decorativas.

Tabela 7 – Média dos resultados dos ensaios de flexão, tração e impacto das amostras de painel de MDF comercial; painel reprocessado com MDF triturado e resina poliéster; painel reprocessado com MDF triturado, mercerizado e com resina poliéster; e amostra de resina poliéster.

AMOSTRA	IMAGEM DAS AMOSTRAS	TENSÃO À FLEXÃO (MPA)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (MPA)	RESISTÊNCIA AO IMPACTO (J)
MC		39,02 +/- 5,56	15,39 +/- 1,73	3,74 +/- 0,80
MR		42,19 +/- 3,11	23,42 +/- 1,85	0,20 +/- 0,03
MM		47,95 +/- 4,22	23,60 +/- 1,72	0,23 +/- 0,02
R		95,75 +/- 9,83	48,11 +/- 9,31	0,07 +/- 0,01

Comparando valores com pesquisas de outros autores, por exemplo, Azevedo e Paiva et al. (2014), a média de flexão foi entre 23,09 MPa a 31,16 Mpa a partir de painéis de MDF utilizando a fibra de coco, babaçu e eucalipto ⁸.

Segundo estudos ^{9; 10; 11} a mercerização pode ocasionar inchamento das fibras, removendo parcialmente a hemicelulose e lignina, promovendo o empacotamento das cadeias de celulose, o que provoca o aumento da sua cristalinidade e reduzindo as propriedades mecânicas.

Os valores de referência para a chapas de MDF comercial são 11 Mpa mínimo de módulo de ruptura e 0,40Mpa mínimo para resistência a flexão estática, segundo a ABNT NBR 14810-2:2018 ¹².

Os valores obtidos nos ensaios realizados neste trabalho são compatíveis com um painel do tipo 2 – da categoria de painéis não estruturais para uso interno em condições secas, segundo Anexo J da norma ABNT NBR 14810-2:2018 ¹². Ou ainda pode-se comparar com painéis denominados madeira plástica.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos conclui-se que o MDF comercial (MC) analisado apresentou os valores médios de tensão à flexão de 39,02 Mpa; resistência à tração de 15,39 Mpa e resistência ao impacto de 1149,65 J/m. Já o MDF triturado e reprocessado com resina poliéster (MR) apresentou os valores médios de tensão à flexão de 42,19 Mpa; resistência à tração de 23,42 Mpa e resistência ao impacto de 59,4 J/m, o MDF triturado, mercerizado e reprocessado com resina poliéster (MM) analisado apresentou os valores médios de tensão à flexão de 95,75 Mpa; resistência à tração de 46,47 Mpa e resistência ao impacto de 17,89 J/m.

A amostra somente de resina poliéster (R) analisada apresentou os valores médios de tensão à flexão de 95,75 Mpa; resistência à tração de 46,47 Mpa e resistência ao impacto de 17,89 J/m.

Portanto o processo de mercerização não contribui para melhor desempenho mecânico, avaliando os resultados do ensaio de flexão e tração. Com relação a resistência ao impacto nenhum dos MDFs reprocessados apresentaram resistência próxima da encontrada em MDF comercial. A rota de reciclagem de MDF pós consumo poderia se iniciar com a moagem do material; preparação de novo painel de MDF com resina poliéster sem tratamento químico por mercerização, para peças com aplicações decorativas ou ainda as aplicações de painéis denominados madeira plástica.

Referências

1 TORQUATO, Luciane Paes. **Caracterização dos painéis MDF comerciais**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

2 CORRÊA, Glaucinei Rodrigues; POLICARPO, Alessandro de Oliveira. Ligno: material compósito com resíduo de madeira. In: **CONGRESSO PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN**, 13., 2019, São Paulo. Anais. São Paulo: Blucher Design Proceedings, 2018. v. 6, p. 1 - 15.

3 MALONEY, T. M.. The Family of Wood Composite Materials. **Forest Products Journal**. Forest Products. Usa, fev. 1996. p. 19-26.

4 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-7264**: Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials. West Conshohocken: Astm International, 2015.

5 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-3039**: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. West Conshohocken: Astm International, 2017. v. 3.

6 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D-256**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. West Conshohocken: Astm International, 2018.

7 WEBER, Cristiane. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 2011.

8 Paiva, R. A. E. M; Azevedo, L.R.S. Cuiabá (2014) Desenvolvimento de painéis MDF utilizando a fibra de côco, babaçu e eucalipto. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS**, 21., 2014, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Cbecimat, 2014. p. 2078 - 2085.

9 Bledzki, A.K., and Gassan, J. (1999) Composites Reinforced with Cellulose Based Fibers. **Progress in Polymer Science**, 24, 221-274. Acesso em novembro de 2019.

10 Paiva, J. M.F, Frollini, E., Trindade, W. (1999). Compósitos de matriz termofixa reforçada com fibras vegetais. **Scielo Analytics**. São Carlos, p. 170-176. out. 1999.

11 RODRÍGUEZ, E. S.; STEFANI, P. M.; VÁZQUEZ, A. Effects of fibers álcali treatment on the resin trnasfer molding processing and mechanical properties of jute – Vinylester. **Composite Journal of Composite Materials**, v. 41; p. 1729, 2007; originally published online Dec 19; DOI: 101177/0021998306069889, 2006. Acesso em novembro de 2019.

12 Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14810-2**: Painéis de partículas de média densidade - Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio, São Paulo: ABNT, 2018.