



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI
CAMPUS ALTO PARAOPÉBA

Lucas Martucheli Moreira
Thales Paulo Bigonha Teixeira

***ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA COM RESINA
DE POLIPROPILENO E RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE MADEIRA***

Ouro Branco – Minas Gerais
Julho de 2023

Lucas Martucheli Moreira
Thales Paulo Bigonha Teixeira

***ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA COM RESINA
DE POLIPROPILENO E RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE MADEIRA***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil,
da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Alto
Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Anderson Ravik dos Santos

Ouro Branco – Minas Gerais
Julho de 2023

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelos autores

M838a

Moreira, Lucas Martucheli.

Análise da viabilidade de produção de madeira-plástica com resina de polipropileno e resíduos de beneficiamento de madeira. / Lucas Martucheli Moreira; Thales Paulo Bigonha Teixeira; orientador Anderson Ravik dos Santos. -- Ouro Branco, MG, 2023.
10 p. il.

Trabalho de Conclusão (Graduação - Engenharia Civil) -
Universidade Federal de São João del-Rei, 2023.

1. Madeira-plástica 2. Polipropileno 3. Compósitos poliméricos 4.
Manejo de resíduos 5. Farinha de madeira I. Teixeira, Thales Paulo
Bigonha. II. Santos, Anderson Ravik dos, orient. III. Título.

Lucas Martucheli Moreira
Thales Paulo Bigonha Teixeira

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA COM
RESINA DE POLIPROPILENO E RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE
MADEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Alto Paraopeba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 04 de julho de 2023

COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 ANDERSON RAVIK DOS SANTOS
Data: 13/07/2023 12:28:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Anderson Ravik dos Santos
(Professor Orientador)

Documento assinado digitalmente
 MARIANA ARRUDA PEREIRA
Data: 13/07/2023 11:40:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Mariana Arruda Pereira
(Professora da Engenharia Civil da UFSJ)

Documento assinado digitalmente
 DOUGLAS MOL RESENDE
Data: 11/07/2023 19:20:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Douglas Mol Resende
(Avaliador convidado)

Documento assinado digitalmente
 VICTOR REZENDE CARVALHO
Data: 12/07/2023 15:15:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Civil Me. Victor Rezende Carvalho
(Avaliador convidado)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus pela vida e por nos ajudar a superar todos os obstáculos encontrados durante o curso. Aos nossos pais por nunca colocarem empecilhos e sempre nos incentivarem nos momentos mais difíceis. Aos nossos companheiros de república e faculdade pela amizade e pelos inúmeros trabalhos juntos, que nos permitiram crescer como pessoa e como formando. Aos laboratórios utilizados, sem os quais este trabalho não poderia ser realizado, pelas infraestruturas cedidas, sendo eles o Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de São João del-Rei, especialmente à técnica Andreia da Conceição de Faria. Ao Intechlab, vinculado ao Programa de Pós-graduação e Departamento de Química (DEQUI) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), na pessoa da Professora Patrícia Santiago de Oliveira Patrício. E finalmente à Universidade Federal de São João del-Rei, aos professores e em especial ao nosso orientador, Me. Anderson Ravik, por todos os conselhos, paciência e troca de conhecimentos durante esse processo tão engrandecedor.

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE MADEIRA-PLÁSTICA COM RESINA DE POLIPROPILENO E RESÍDUOS DE BENEFICIAMENTO DE MADEIRA

Lucas Martucheli Moreira¹; Thales Paulo Bigonha Teixeira¹

1: Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Brasil
Campus Alto Paraopeba (CAP)
Rod. MG 443, KM 7, Fazenda do Cadete, Ouro Branco - MG 36495-000
<https://www.ufsj.edu.br/cap/>

Resumo A exploração comercial de madeira natural na construção civil causa impactos ambientais significativos devido ao desmatamento. Como solução sustentável, uma alternativa viável é investir na produção de madeira plástica, um compósito feito a partir da incorporação de cargas de enchimento e/ou reforço em matrizes de polímeros. Este estudo tem como objetivo avaliar tecnicamente o uso de Polipropileno virgem e resíduos de beneficiamento de madeira como matérias-primas na produção de madeira plástica, buscando reduzir os impactos ambientais causados pela exploração desmedida de madeira natural. A farinha de madeira utilizada foi caracterizada quanto à granulometria e densidade. Foram produzidos corpos de prova com diferentes proporções de carga utilizando os processos de homogeneização, extrusão, peletização e compressão a quente. As amostras foram submetidas a ensaios mecânicos de avaliação da resistência à tração e flexão. A caracterização da farinha de madeira mostrou que o material se adequa à metodologia proposta. A adição de farinha de madeira ao Polipropileno, com carga máxima de 30 % em massa, melhorou em 21,36 % o desempenho dos compósitos quanto à flexão e aumentou sua rigidez, reduzindo a deformação. Portanto, os resultados alcançados foram promissores, considerando que, no contexto dos decks, a principal aplicação da madeira plástica na construção civil, as ripas geralmente serão submetidas a forças de flexão. Além disso, o aspecto visual alcançado se assemelha à madeira natural em texturas e tonalidades, o que pode facilitar sua inserção no mercado.

Palavras-chave: Madeira-plástica, Polipropileno, Compósitos poliméricos, Manejo de resíduos, Farinha de madeira.

Abstract Commercial exploitation of natural wood in civil construction causes significant environmental impacts due to deforestation. As a sustainable solution, a viable alternative is to invest in plastic wood production, a composite made from the incorporation of fillers and/or reinforcement in polymer matrices. This study aims to evaluate the applicability of virgin Polypropylene and wood processing waste as raw materials in the production of wood plastic, seeking to reduce the environmental impacts caused by the unrestrained exploitation of natural wood. The wood flour used was characterized according to its particle size distribution and specific gravity. Specimens with different load proportions were produced using the processes of homogenization, extrusion, pelletization, and hot compression. The samples were submitted to tensile and flexural mechanical tests. The characterization of the wood residue showed that the material is suitable for the proposed methodology. Adding wood flour to polypropylene, with a maximum load of 30% in mass, mainly improved the performance of the composites regarding bending and increased their stiffness, reducing deformation. Therefore, the results achieved were satisfactory, considering that in the context of decks, the main application of plastic wood in civil construction, the slats will generally be subjected to bending forces. In addition, the visual aspect achieved is similar to natural wood in texture and tone, which can facilitate its insertion in the market.

Key-words: Wood-plastic, Polypropylen, Polymeric composites, Waste management, Wood flour.

1. INTRODUÇÃO

A exploração de madeira natural para fins comerciais é uma prática que impacta seriamente a saúde do ecossistema planetário, uma vez que as árvores desempenham um papel fundamental na manutenção do equilíbrio ecológico. A monocultura de espécies comerciais como Eucalipto e Pinus, por exemplo, representa uma grande ameaça ao meio ambiente, devido ao seu alto potencial invasor e de degradação (RESUENO *et al.*, 2018).

Paralelamente, outro impacto ambiental significativo diz respeito à poluição causada pelos resíduos plásticos. Estima-se que o material corresponda a 12 % dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados anualmente no mundo (KAZA *et al.*, 2018; KIELING *et al.*, 2019), que totalizam aproximadamente 2,01 bilhões de toneladas. Há ainda a previsão de que esta quantidade aumente para 3,40 bilhões de toneladas até 2050 (KAZA *et al.*, 2018).

Neste sentido, a utilização da madeira plástica em detrimento à madeira natural tem desempenhado um papel significativo no enfrentamento dos problemas ambientais citados. A madeira plástica é um material compósito, resultante da combinação de uma matriz polimérica e uma carga de preenchimento e/ou reforço que pode melhorar as propriedades mecânicas do produto final (KIELING *et al.*, 2019), e ambos componentes podem ser constituídos por materiais reciclados.

A madeira plástica oferece benefícios estéticos, resistência à umidade e ao mofo (CLEMONS, 2002), bem como maior resistência à ação de pragas e fungos em comparação com a madeira natural (CABRAL *et al.*, 2016). Na Engenharia Civil, o material é frequentemente utilizado na construção de decks de piscinas, tapumes e hastes para cercas (CARUS *et al.*, 2015). Além dos benefícios mencionados, a utilização da madeira plástica contribui para a redução do consumo de madeira natural (KESKISAARI; KARKI, 2018), preservando as florestas e os habitats naturais, além de auxiliar na redução do acúmulo de resíduos plásticos no planeta (PORTELA JUNIOR *et al.*, 2019), quando estes são utilizados como matriz.

Podem ser encontradas na literatura várias pesquisas propondo madeiras plásticas com diferentes combinações de matriz e cargas. Devido à sua baixa densidade, resistência química, custo reduzido e equilíbrio entre rigidez e tenacidade (CALLISTER; RETHWISCH, 2016) as matrizes mais empregadas na fabricação de madeira plástica são de termoplásticos. Estes materiais apresentam alta reciclabilidade, visto que podem ser moldados e remoldados diversas vezes, sob ação da temperatura e pressão (NAZÁRIO *et al.*, 2016). São exemplos de termoplásticos o polipropileno (PP), polietileno (PE) e policloreto de vinila (PVC), além de outros polímeros recicláveis (CHUN *et al.*, 2019). A respeito das cargas, as mais utilizadas na produção de madeira plástica são resíduos de madeira, seja como farinha (serragem), cascas ou cavacos, além de outros materiais fibrosos, tais como fibra de coco, bambu e casca de arroz (KIELING *et al.*, 2019). A utilização dos subprodutos da indústria madeireira oferece vantagens como menor custo e maior disponibilidade em comparação com os outros tipos de carga (BATTISTELLE *et al.*, 2014).

Alguns exemplos de combinações propostas em pesquisas anteriores são PP e casca de arroz (ZAINI *et al.*, 2016), Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e farinha de madeira (MBAREK *et al.*, 2010), PEAD e fibra de madeira (AL-MAQDASI *et al.*, 2020), PP e resíduos de papelão ondulado (SANTOS *et al.*, 2022) e PP e farinha de madeira (BATTISTELLE *et al.*, 2014). Além das fibras naturais, aditivos minerais como o grafeno (AL-MAQDASI *et al.*, 2020) e o talco (HUANG *et al.*, 2013) podem ser utilizados para melhorar as propriedades mecânicas dos materiais produzidos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade de PP virgem e resíduos de beneficiamento de madeira como matérias-primas na produção de madeira plástica. Visa ainda contribuir para o desenvolvimento de materiais sustentáveis e eficientes que minimizem os impactos ambientais e reduzam a exploração de recursos naturais de forma que os resultados obtidos poderão subsidiar o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento de processos produtivos na área de madeira plástica.

2. METODOLOGIA

2.1. Matérias-primas e caracterização da farinha de madeira

As matérias-primas empregadas na produção da madeira-plástica proposta consistiram em Polipropileno virgem (PPv) e farinha de madeira (FM). O PPv utilizado é fabricado pela Braskem, tem índice de fluidez igual e 3,5 g/10 minutos e densidade de 0,905 g/cm³ (BRASKEM, 2019). A FM foi adquirida em uma madeireira localizada em Ouro Branco-MG, sendo uma mistura das espécies Pinus (*Pinus elliptii* Engelm), Orelha de Macaco (*Enterolobium schomburgkii*) e Paraju (*Manilkara huberi*).

Para eliminação da umidade, conforme indicado pela NBR 17054 (ABNT, 2022), a FM foi seca em estufa a 100°C por 24 horas, e posteriormente passou por um beneficiamento granulométrico. Inicialmente a FM foi peneirada em uma peneira de areia, de uso comum na construção civil, com abertura de aproximadamente 4,8 mm a fim de descartar materiais grosseiros. Posteriormente, o material foi peneirado

em laboratório utilizando um conjunto de peneiras de 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 600 µm, 300 µm e 150 µm, sobre uma plataforma vibratória. Após 15 minutos de vibração contínua, as peneiras foram retiradas da plataforma para obtenção da massa retida em cada uma delas, sendo o processo realizado uma vez para cada amostra. O material passante na peneira de 600 µm, utilizado na confecção dos corpos de prova, foi então armazenado em sacos plásticos hermeticamente fechados.

Para a verificação da densidade da farinha de madeira utilizou-se o método gravimétrico com balança hidrostática, que se baseia no deslocamento da água devido à imersão da amostra (FOELKEL *et al.*, 1971). A partir de 5 amostras de 25 g cada, a FM foi envolta em um saco de pano juntamente com um contrapeso, para que pudesse afundar na água, e aferiu-se a seguinte sequência de valores:

- (1) Peso do saco quando submerso em água com o auxílio do contrapeso.
- (2) Peso ao ar do saco saturado e contrapeso.
- (3) Peso seco em estufa do saco e contrapeso.
- (4) Peso imerso do saco, contrapeso e farinha de madeira.
- (5) Peso ao ar do saco, contrapeso e farinha de madeira.
- (6) Peso seco em estufa do saco, contrapeso e farinha de madeira.

A densidade básica foi calculada a partir da Equação 1.

$$ds = \frac{(6) - (3)}{[(5) - (2)] - [(4) - (1)]} \quad \text{Equação (1)}$$

2.2. Moldagem dos corpos de prova

Para a produção da madeira plástica, foram elaboradas diferentes formulações utilizando 60 g de PPv e variados teores de FM (5 %, 10 %, 20 % e 30 % da massa total), além de uma amostra de controle composta exclusivamente por PPv, como apresentado na Tabela 1. Não foram produzidas amostras contendo maiores teores de FM devido às limitações técnicas encontradas por Santos *et al.* (2022), que utilizou os mesmos equipamentos e condições de processamento em uma pesquisa envolvendo um compósito de PP reciclado com papelão ondulado.

A confecção dos corpos de prova envolveu uma série de procedimentos. Inicialmente, um homogeneizador termocinético de alta velocidade (Drais) foi utilizado para misturar os materiais de forma homogênea. Em seguida, o material resultante dessa etapa foi processado em um moinho de facas (Marconi, MA 580) com peneira de 1,75 mm, a fim de triturá-lo em menores dimensões que pudessem passar pelo sistema de alimentação da extrusora monorroscas de laboratório (Thermo Scientific, HAAKE PolyLab), utilizada para extrusão do compósito. A extrusora operou a uma temperatura constante de 175 °C em suas três zonas de aquecimento, enquanto o parafuso condutor girava a uma velocidade de 45 rpm. Posteriormente, o material extrudado com diâmetro médio de 3,40 mm passou por um processo de peletização em peletizadora AX Gran (AXPlástico), resultando na obtenção de grãos com comprimento médio de 3,70 mm.

Tabela 1 – Traços dos compósitos poliméricos compostos por PPv e FM, em porcentagem de massa.

Formulação	PPv (%m)	FM (%m)
100PPv	100	0
95PPv5FM	95	5
90PPv10FM	90	10
80PPv20FM	80	20
70PPv30FM	70	30

Placas do compósito foram produzidas a partir dos grãos peletizados por meio de compressão a quente em uma prensa hidráulica com aquecimento (SL11, SOLAB). A prensa foi operada a uma temperatura de 180 °C com uma força de fechamento de 5 toneladas (aproximadamente 25 MPa) durante um período de 5 minutos. Para conformação das placas foram empregadas duas chapas de compressão e um molde metálico (comprimento 150 mm, largura 100 mm e espessura 1 mm). Após a prensagem, o material no molde

foi mantido em repouso por 10 minutos, sob a mesma pressão de moldagem. Depois de resfriadas e desmoldadas, as placas foram cortadas dando origem aos corpos de prova (CP) utilizados nos ensaios e análises subsequentes (comprimento de 100 mm, largura de 13 mm e espessura de 1 mm).

O fluxograma apresentado na Figura 1 resume as matérias-primas e procedimentos envolvidos na produção dos CP madeira plástica.



Figura 1. Fluxograma de procedimentos.

A Figura 2 apresenta o aspecto do material após cada procedimento realizado. O PPv, em forma de grão, e a FM, em forma de pó (a), adquirem um aspecto pastoso após serem misturados no homogeneizador (b). Essa massa pastosa resfia e enrijece rapidamente, não sendo possível passar pelo alimentador da extrusora. Por isso, ela é moída, tomando a forma de lascas (c). Da extrusora, o compósito sai em formato de corda (d), a qual é peletizada para adquirir aspecto granular (e). Por fim, os grãos são levados à prensa, onde são conformados em chapas (f).

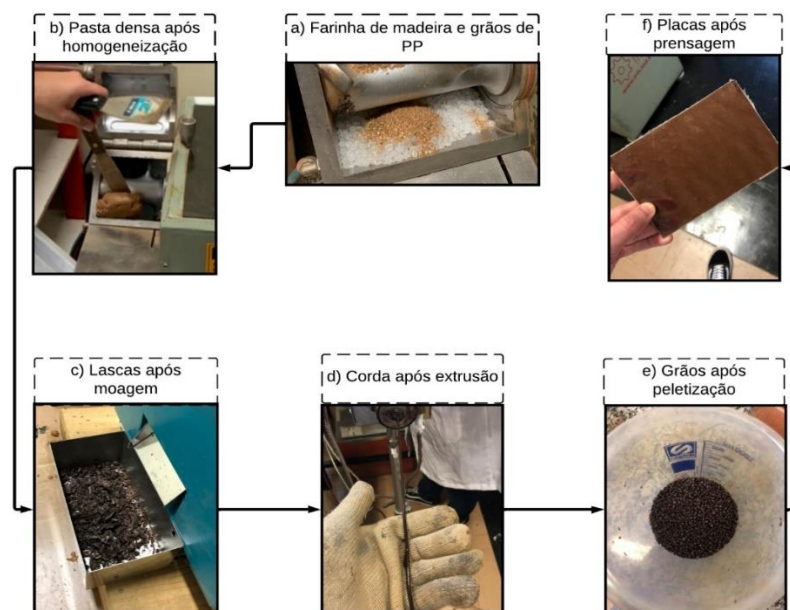


Figura 2. Aspecto do compósito durante os procedimentos.

2.3. Avaliação das propriedades

Os ensaios de resistência à tração dos corpos de prova foram realizados em Máquina Universal de

ensaios (EMIC 23-20, Instron), com velocidade de separação das garras de 50 mm/min, de acordo com a norma D638 (ASTM, 2014), operada em temperatura ambiente (aproximadamente 23 °C). Os resultados foram obtidos a partir da média aritmética de 6 CP ensaiados, com precisão de 0,1 %. Foram avaliados os parâmetros de deformação à tração, módulo de elasticidade e máxima tensão à tração.

Os ensaios de resistência à flexão foram conduzidos de acordo com a norma D790 (ASTM, 2007) utilizando a mesma Máquina Universal de ensaios. Os parâmetros avaliados incluíram as propriedades de resistência à flexão, módulo de elasticidade e deformação sob flexão. A média aritmética de quatro corpos de prova foi utilizada para obter os resultados, com uma precisão de 0,1 %.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Caracterização da farinha de madeira

O ensaio de granulometria permitiu analisar a distribuição de tamanho das partículas de FM. Em posse destes valores, foi possível a criação da curva granulométrica apresentada na Figura 4. O intervalo do peneiramento indica a presença de partículas ou fibras muito curtas. Como pode ser observado a partir da análise granulométrica, a maior parte do material (83,5 %) tem granulometria entre 0,15 e 1,18 mm; distribuição que se enquadra dentro do tamanho típico das partículas utilizadas para a produção de madeira plástica: 0,18 a 2,0 mm (CLEMONS, 2002). Além disso, o D90 do material (diâmetro a partir do qual 90 % das partículas tem tamanho inferior) é de 1,18 mm.

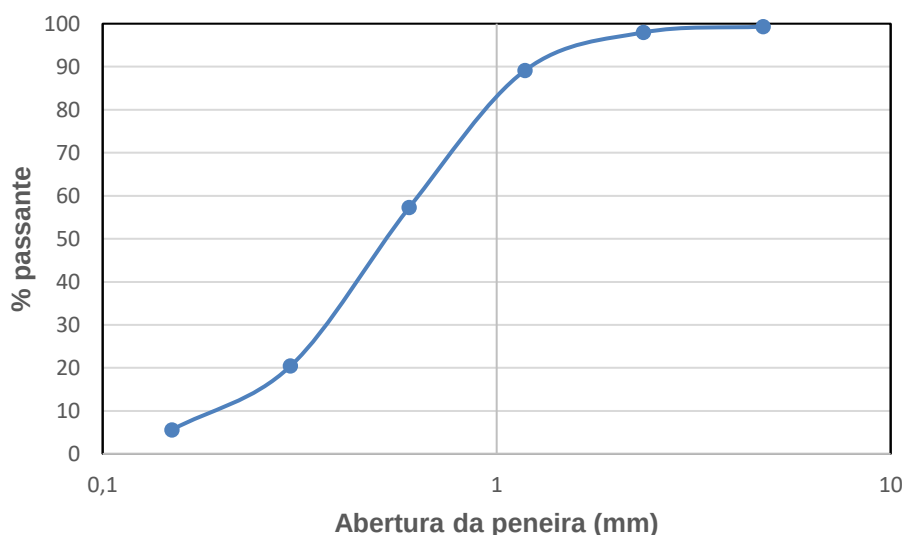


Figura 3. Curva granulométrica da farinha de madeira

A partir do método gravimétrico foram obtidos os resultados de densidade básica contidos na Tabela 2, para cinco amostras de FM, assim como a densidade média do material. O valor médio obtido, 0,261 g/cm³, é 71 % menor que a densidade do PPv (0,905 g /cm³). A densidade reduzida da FM permite a redução da massa específica do compósito, se tornando um ponto positivo em relação à sua aplicação, como por exemplo facilidade de transporte e manuseio, e consequente valorização do produto final. Entretanto, esta diferença pode apresentar desafios no momento da mistura dos materiais, como no caso em que o processo é feito simultâneo à extrusão. Isto porque pode ocorrer a separação natural dos materiais por gravidade, gerando uma segregação da mistura, com o PPv se concentrando na parte inferior e as partículas de FM subindo para a parte superior do alimentador manual. Além disso, materiais com diferentes densidades podem apresentar diferentes propriedades de fluxo e escoamento, sendo as partículas mais densas mais difíceis de mover e misturar devido à sua maior inércia e maior resistência ao movimento em comparação com as partículas menos densas. Desta forma, acredita-se que a opção pela mistura dos materiais em homogeneizador termocinético garantiu uma mistura mais eficiente e homogênea das matérias-primas, ainda que com densidades diferentes, em detrimento à extrusão.

Tabela 2 - Densidade básica da farinha de madeira

Amostra	Densidade (g/cm ³)
1	0,214
2	0,281
3	0,261
4	0,244
5	0,266
Média	0,261

3.2. Corpos de prova de madeira plástica

A Figura 4 apresenta um corpo de prova de cada uma das amostras produzidas, após o corte das chapas moldadas, nomeados de acordo com o teor de FM incorporado ao PPv: 95PPv5FM, 90PPv10FM, 80PPv20FM e 70PPv30FM. Além disso, também foi produzida uma amostra de controle com a resina virgem (100PPv), que passou pelos mesmos procedimentos descritos no fluxograma da Figura 1.

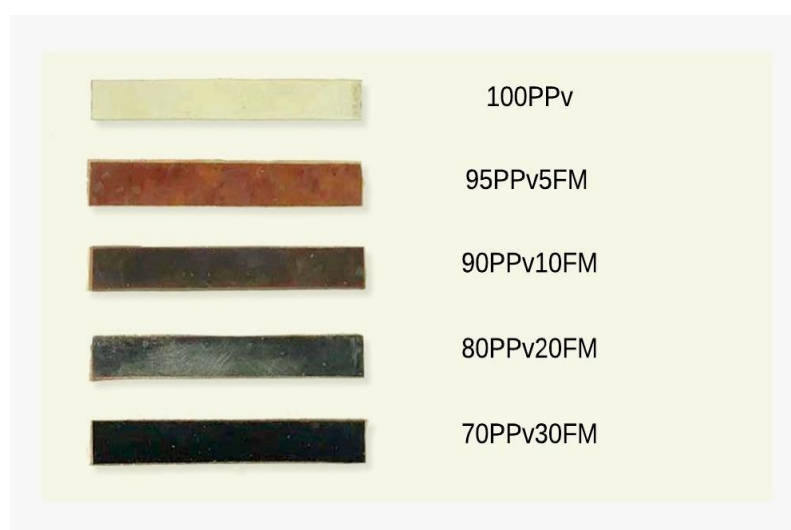


Figura 4. Corpos de prova de madeira plástica

3.3. Resistência à tração

Os resultados de tensão e deformação na força máxima para o ensaio de tração uniaxial são apresentados na Figura 5, enquanto os resultados de módulo de elasticidade na tração põem ser observados na Figura 6.

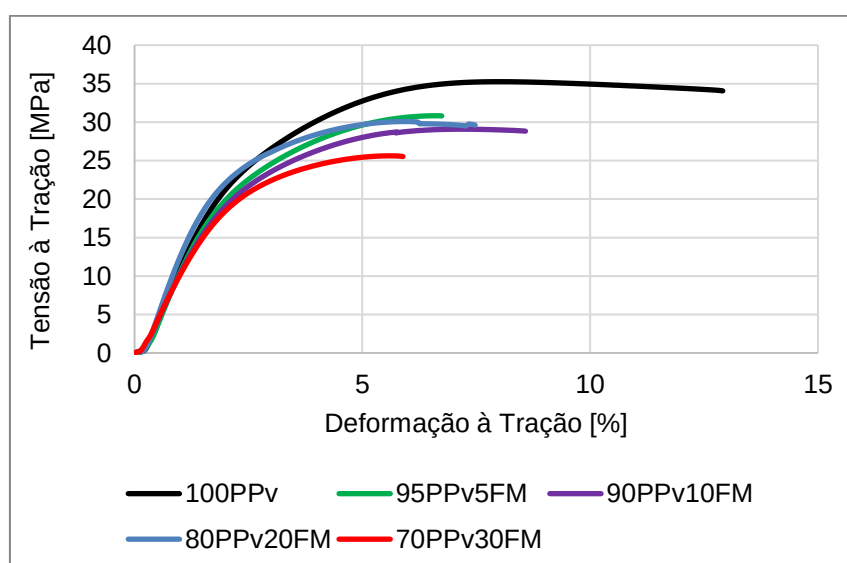


Figura 5. Gráfico tensão x deformação à tração.

Fica evidente que a amostra de controle, composta de resina virgem, apresenta uma deformação significativamente maior e suporta uma tensão de tração (35,25 MPa) superior às amostras de madeira plástica. Observa-se que a adição de FM, variando de 5 a 30 %, resulta em uma redução na deformação do material e de sua resistência à tração. A menor resistência (26,02 MPa) foi obtida pela amostra com maior teor de FM (70PPv30FM), sendo 18,5 % menor que a resistência à tração (30,83 MPa) da amostra contendo menor teor de FM (95PPv5FM). A princípio, o comportamento dos materiais aparenta ser proporcional ao teor de FM adotado, entretanto a amostra 80PPv20FM não apresentou o comportamento previsto, ao alcançar resistência máxima de 30,07 MPa, superior à resistência da amostra 90PPv10FM (29,08 MPa), mesmo esta última contendo menor teor de FM. É possível que os pellets utilizados para a moldagem desta amostra tenham composição mais heterogênea, com maior concentração de PPv em algumas regiões. De toda forma, a resistência inversamente proporcional à quantidade de carga adicionada pode estar relacionada a uma ineficiência na transmissão de esforços do PPv para a FM (SCHEEREN; MÄHLMANN; MÜLLER, 2020).

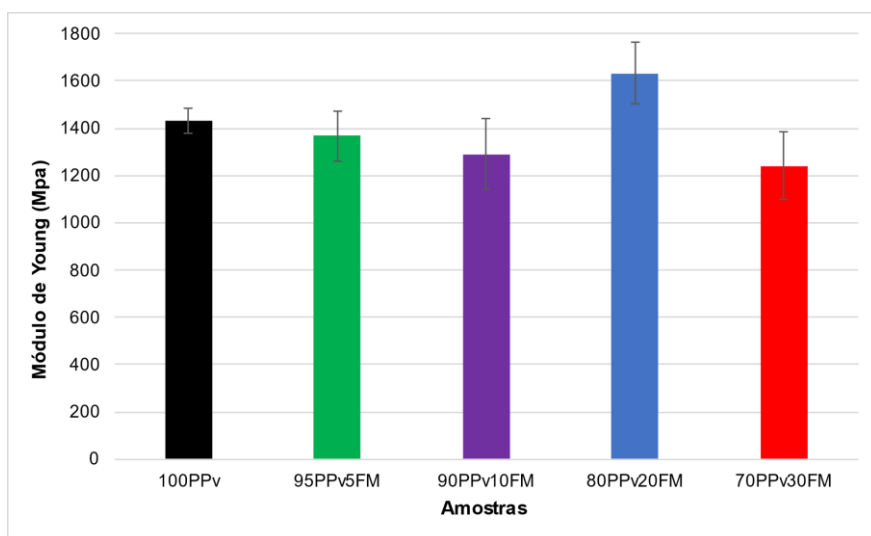


Figura 6. Gráfico de módulo de elasticidade na tração

Ao analisar os resultados para módulo de elasticidade apresentados na Figura 6 observa-se que, com exceção da amostra 80PPv20FM, e considerando os valores de desvio padrão, os módulos de elasticidade das madeiras plásticas produzidas se equivalem, o que leva a crer que a variação de carga de 5 % a 30 % não interfere significativamente na rigidez do material.

As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, os resultados de tensão e deformação e de módulo de elasticidade na força máxima para o ensaio de flexão.

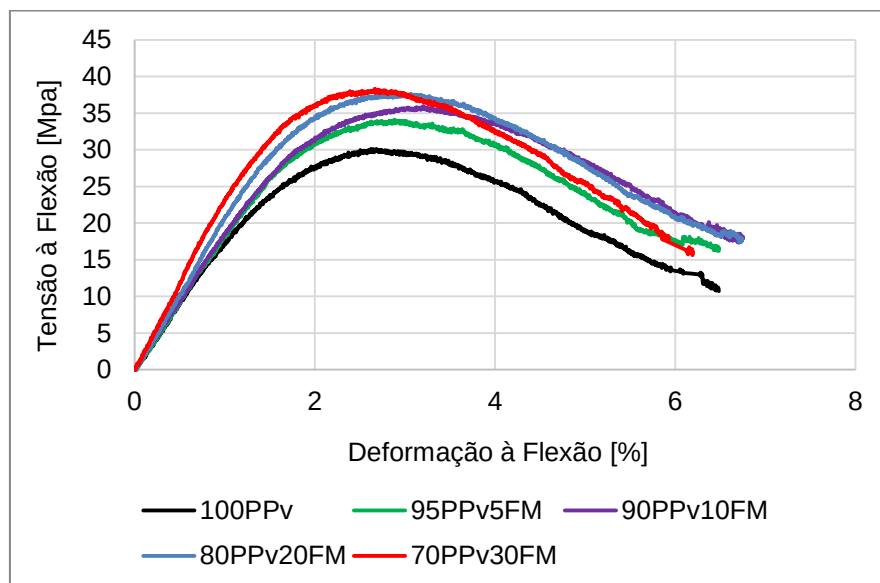


Figura 7. Gráfico tensão x deformação à flexão

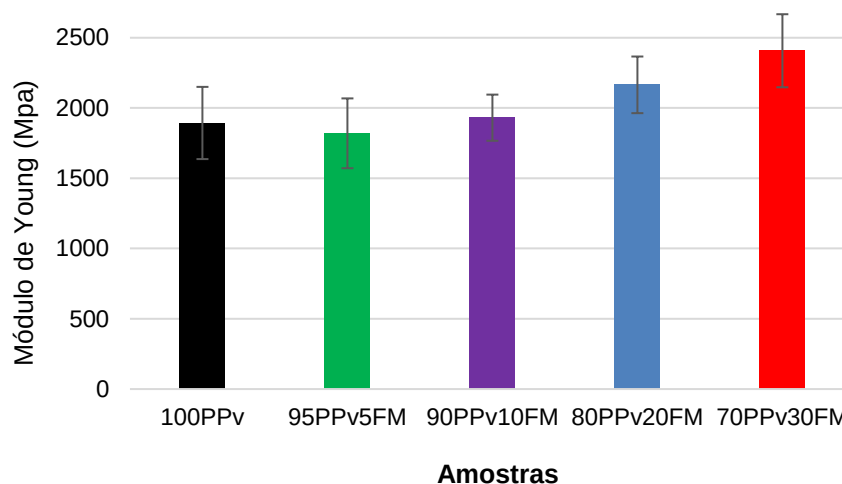


Figura 8. Gráfico de módulo de elasticidade na flexão com desvio padrão

Ao analisar a curva de flexão apresentada na Figura 7, podemos observar um comportamento contrário ao da resistência à tração, ou seja, com o aumento no teor de FM, o material passou a alcançar maiores valores de resistência, permitindo suportar cargas mais elevadas. Considerando que no contexto dos decks, a principal aplicação da madeira plástica na construção civil, as ripas geralmente serão submetidas a forças de flexão em vez de tração direta, os resultados alcançados são promissores. A amostra contendo 30 % de FM alcançou tensão máxima igual 30,3MPa, valor 1,7% maior que a amostra com 20 % de FM e 27 % maior que a amostra de controle, contendo apenas PPv.

O acréscimo do teor de carga também ocasionou em um aumento do módulo de elasticidade na flexão, como pode ser visto na Figura 8, indicando uma maior rigidez do material, logo, menor tendência à deformação, o que também favorece sua aplicação em segmentos da construção civil, como é o caso dos decks. O módulo de elasticidade da amostra 70PPv30FM (2407,4 MPa) foi 11,2 % maior que a amostra contendo 20 % de FM e 32% maior que o valor encontrado para 95PPv5FM.

4. CONCLUSÃO

A pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade da utilização de resíduos de farinha de madeira como carga de enchimento na produção de madeira plástica à base de polipropileno (PP). Por meio da caracterização do resíduo de beneficiamento de madeira foi possível constatar que é mais vantajoso realizar a mistura dos materiais antes da extrusão, como proposto na metodologia, em vista de uma melhor homogeneidade do compósito. Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos demonstraram que a produção de madeira plástica a partir das matérias-primas sugeridas é possível e viável. A amostra com maior teor de carga, que apresenta maior potencial de reciclagem da FM, apresentou os melhores resultados nos testes de flexão, com um aumento significativo da rigidez. Isso torna o material adequado para aplicações em decks, principal destinação da madeira plástica na construção civil. Para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de ensaios físicos como absorção e inchamento para avaliar se a propriedade hidrofílica da madeira também é evidenciada no compósito, o que pode prejudicar sua aplicação em ambientes úmidos. Outras informações detalhadas do material também podem ser obtidas a partir de ensaios de microscopia, a fim de visualizar e avaliar a adesão da FM ao PP. Tais análises fornecerão uma compreensão mais completa das características da madeira plástica produzida, contribuindo para sua aplicação eficaz em diferentes contextos da indústria.

REFERÊNCIAS

- AL-MAQDASI, Zainab *et al.* Characterization of wood and Graphene Nanoplatelets (GNPs) reinforced polymer composites. *Materials*, v. 13, n. 9, p. 2089, 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). D638 – 14: Standard test method for Tensile properties of plastics. West Conshohocken, PA, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D790-17: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 17054: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.
- BATTISTELLE, Rosane *et al.* Caracterização física e mecânica de um compósito de polipropileno reciclado e farinha de madeira sem aditivos. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 19, p. 07-15, 2014.
- BRASKEM. Folha de dados - Polipropileno PG35L. Braskem, 2019. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/cms/Principal/ModuloProduto/DownloadFolhaDados?idFolha=HECYKKCesNg=&idIdioma=YrItVniimrc=&idTipo=YrItVniimrc=&idProduto=yN9iNvlyyt4=&pasta=T46EDfq+gkM=&guid=dcf901ab-82db-46e8-a1db-dd69fa08b458>. Acesso em: 11-06-2023.
- CABRAL, Stênio Cavalier *et al.* Características comparativas da madeira plástica com a madeira convencional. *Revista Científica Vozes dos Vales*, v. 10, n. 5, p. 1–20, 2016.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. *Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução* - 9ª Ed. LTC, 2016.
- CARUS, Michael *et al.* Wood-plastic composites (WPC) and natural fibre composites (NFC). *NovalInstitute: Hürth, Germany*, v. 16, p. 1-16, 2015.
- CHUN, Koay Seong *et al.* Wood plastic composites made from post-used polystyrene foam and agricultural waste. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 32, n. 11, p. 1455–1466, 2019
- CLEMONS, Craig. Interfacing wood-plastic composites industries in the U.S., *Forest Products Journal*, v. 52, n. 6, p. 10–18, 2002.
- 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.
- Huang RZ, Kim BJ, Lee S, Yang Z, Wu QL (2013) Co-extruded wood-plastic composites with talc filled shells: morphology, mechanical, and thermal expansion performance. *BioResources* 8:2283– 2299
- KAZA, S. *et al.* What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. [S.l.]: World Bank Publications, 2018. v. 1999.
- KESKISAARI, Anna; KÄRKI, Timo. The use of waste materials in wood-plastic composites and their impact on the profitability of the product. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 134, p. 257-261, 2018.
- KIELING, A.; PEREIRA, S.; DOS SANTOS, Maria Cristina. Compósitos de madeira plástica: considerações gerais. *Scientia Amazonia*, v. 8, n. 1, p. B1-B14, 2019.
- KLYOSOV, Anatole A. *Wood-plastic composites*. John Wiley & Sons, 2007.
- MBAREK, T; ROBERT, L.; HUGOT, F.; ORTEU, J. J.; SAMMOUDA, H.; GRACIAA, A.; CHARRIER, B. Study of Wood Plastic Composites elastic behaviour using full field measurements. *EPJ Web of Conferences* 6, 28005, 2010.
- NAZÁRIO, Gabriel Fernando *et al.* Madeira plástica: Uma revisão conceitual. *Revista Engenharia em Ação UniToledo*, v. 1, n. 01, 2016.
- PORTELA JUNIOR, Adauto de Brito *et al.* A MADEIRA PLÁSTICA E SEUS EFEITOS E VANTAGENS PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. In: *Enaproc*, v. 1, n. 1, 2019. p. 10–12.
- RESUENO, LUCAS HENRIQUE FERNANDES *et al.* *Ciências Ambientais e o Desenvolvimento Sustentável na Amazônia* 3. Atena Editora. Ponta Grossa (PR), 2018.
- SANTOS, A. R.; SILVA, T. V.; BRAGA, G. D.; PATRICIO, P. S. O.; FONTES, W. C. APLICABILIDADE DE RESÍDUOS DE PAPELÃO ONDULADO COMO CARGA DE COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL. In: 4º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2022, Salvador, Bahia. Anais do evento 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de

Construção Sustentáveis, 2022. p. 965-977

SCHEEREN, Denise; MÄHLMANN, Cláudia Mendes; MÜLLER, Franciéli. Avaliação das propriedades de um compósito de matriz polimérica de polipropileno reciclado reforçado com resíduo de madeira. *Tecnologia*, v. 24, n. 2, p. 132-141, 2020

ZAINI, A. S. S. M.; RUS, A. Z. M.; RAHMAN, N. A.; JAIS, F. H. M.; FAUZAN, M. Z.; SUFIAN, N. A. Mechanical Properties Evaluation of Extruded Wood Polymer Composites. 4th International Conference on the Advancement of Materials and Nanotechnology (ICAMN IV), 2016.