



Desenvolvimento de um compósito plástico-madeira a partir de fontes renováveis e polietileno de alta densidade

Development of a wood-plastic composite from renewable sources and high-density polyethylene

Júlia G. Batista¹, Kauê T. Pizzo², Guilherme A. M. de Jesus², Elton G. Bonafé³

RESUMO

Os compósitos de plástico-madeira consistem em uma composição que inclui um elemento de reforço, que geralmente são finas partículas de madeira incorporadas em uma matriz polimérica. Apresentando como principal objetivo a caracterização de compósito plástico-madeira. Nesse contexto, o propósito do projeto era fabricar Compósitos de Plástico-Madeira (WPCs) utilizando uma combinação de serragem de eucalipto e fibras de vidro, que foram incorporadas ao polietileno de alta densidade por meio de um processo de extrusão convencional. A matriz foi estabelecida em 60%, enquanto as proporções de serragem de eucalipto e fibra de vidro (St/FG) foram variadas em 100%, 75%, 25% e 0% (m/m). Os materiais compósitos que foram preparados passaram por caracterizações utilizando MEV-EDS, DSC, FTIR, umidade, densidade e capacidade de absorção de água. Entre todas as formulações testadas, a composição com 40% de serragem (40St) se destacou ao exibir a maior resistência à compressão. Isso sugere que é viável produzir e substituir 40% do HDPE por serragem, um subproduto da madeira, resultando em melhorias significativas nas propriedades de compressão.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras naturais. Fibras sintéticas. Polietileno de alta densidade.

ABSTRACT

Wood-plastic composites consist of a composition that includes a reinforcing element, typically fine wood particles incorporated into a polymeric matrix. The primary objective was the characterization of wood-plastic composites. In this context, the project aimed to manufacture Wood-Plastic Composites (WPCs) using a combination of eucalyptus sawdust and fiberglass, incorporated into high-density polyethylene through a conventional extrusion process. The matrix was set at 60%, while the ratios of eucalyptus sawdust and fiberglass (St/FG) were varied at 100%, 75%, 25%, and 0% (w/w). The prepared composite materials underwent characterizations using SEM-EDS, DSC, FTIR, moisture content, density, and water absorption capacity analyses. Among all tested formulations, the composition with 40% sawdust (40St) stood out by exhibiting the highest compression strength. This suggests that it is feasible to produce and replace 40% of HDPE with sawdust, a wood byproduct, resulting in significant improvements in compression properties.

KEYWORDS: Natural fibers. Synthetic fibers. High density polyethylene.

1. INTRODUÇÃO

¹ Julia G. Batista, (CNPq). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: juliabatista@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3361546736150088>

² Kaue T. Pizzo, Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná. E-mail: pizzo@alunos.utfpr.edu.br. Guilherme A. M. de Jesus. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: guilhermejesus@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3981994589260382>.

³ Elton G. Bonafé. Licenciatura em Química/PPGCEM. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, Paraná, Brasil. E-mail: eltonbonafe@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4227748069228395>.



Compósitos de Plástico-Madeira (WPCs) são uma solução inovadora que utiliza serragem de eucalipto, um subproduto abundante, como material de preenchimento em uma matriz de polietileno de alta densidade (HDPE) (R. Liu et al., 2014). Além da sustentabilidade ambiental, WPCs apresentam excelentes propriedades mecânicas quando reforçados com fibras de vidro. Estas fibras sintéticas, amplamente disponíveis e economicamente viáveis, reforçam o compósito, tornando-o resistente e durável (Jiang et al., 2007; Tamrakar et al., 2012; Zolfaghari et al., 2013). A incorporação estratégica de fibras de vidro não apenas aumenta a resistência, mas também mantém a aparência natural da madeira nos produtos finais. Os materiais compósitos, incluindo compósitos de plástico-madeira (WPCs), preservam as características originais dos materiais constituintes, sendo transformados em novos materiais com propriedades mecânicas e físicas específicas para suas aplicações, mantendo um custo reduzido (Elsheikh et al., 2022; Haque et al., 2019; Yang et al., 2019). Esses materiais são fabricados por processos como extrusão, moldagem por injeção e moldagem por compressão. Métodos inovadores, como fabricação aditiva através de modelagem de camada fundida e sinterização a laser, também são empregados na produção de WPCs, oferecendo novas possibilidades na indústria de compósitos (Gardner et al., 2015).

Ao incorporar componentes naturais e sintéticos, os Compósitos de Plástico-Madeira não apenas melhoram a eficiência dos recursos, mas também promovem a sustentabilidade ecológica na indústria da construção civil, alinhando-se com as crescentes preocupações ambientais e as necessidades de materiais duráveis e sustentáveis (C. Liu et al., 2020; X. Zhao, Li, Wang, Tekinalp, Richard, et al., 2020). Essa abordagem integrada não apenas reduz o impacto ambiental, mas também contribui significativamente para a construção de um futuro mais verde e ecologicamente responsável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O polímero comercial puro, o polietileno de alta densidade (HDPE), foi adquirido na forma de grânulos de uma empresa atuante no setor de reciclagem local. As fibras sintéticas de vidro foram fornecidas por uma empresa especializada em isolamento térmico, e a serragem de eucalipto foi obtida através de operações de corte com serras de fita e circulares, foi cedida por uma madeireira da região.

2.2 Métodos

2.2.1 Obtenção dos compósitos

Os WPCs foram produzidos através da combinação de polietileno de alta densidade com os agentes de reforço, fibra de vidro e serragem de eucalipto. Estudos prévios conduzidos em laboratório determinaram a proporção ideal da matriz polimérica (HDPE) no compósito, resultando na fixação de 60% (em relação à massa total) de polímero. Foram analisadas três diferentes concentrações de serragem de eucalipto e fibra de vidro. As proporções de serragem de eucalipto/fibra de vidro (St/FG) para os 40% (em relação à massa total) da mistura final serão as seguintes: 40/0; 30/10; 20/20; 10/30; 0/40. As proporções de St/FG em relação à quantidade de material de reforço são as seguintes: 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100. Estas são denominadas como 40St; 30St; 20St; 10St; 0St. As fibras de serragem de eucalipto passaram por um processo de



secagem a 40°C, com duração de aproximadamente 48 horas, para eliminar o excesso de umidade. Posteriormente, foram submetidas à trituração e peneiramento, garantindo a uniformidade do tamanho das partículas no material. As fibras de vidro foram trituradas em um moinho e peneiradas para obter partículas com tamanho constante, enquanto a matriz foi utilizada em sua forma original, conforme fornecida pelo fabricante. Os diferentes materiais foram obtidos por meio de extrusão convencional a uma temperatura de 200°C. Após a pesagem, seguindo as proporções estabelecidas, os materiais foram misturados mecanicamente e introduzidos na extrusora. O resultado desse processo foi a obtenção de materiais compósitos com formato cilíndrico. Os WPCs produzidos foram armazenados em embalagens de poliestireno, à temperatura ambiente.

2.2.2 Cálculo da densidade

A densidade dos corpos de teste foi determinada considerando a densidade da água usada para a imersão, de 1 g/cm³ (ou 1000 kg/m³), conforme a equação:

$$\text{Densidade} = \frac{M_0}{V_0}$$

M_0 representa a massa da amostra após ter sido submetida à secagem em estufa (kg), enquanto V_0 corresponde ao volume da mesma amostra (m³).

2.2.3 Retenção de água (%)

A determinação da absorção de água dos materiais foi efetuada após um período de imersão de 24 horas em água destilada. As amostras foram inicialmente pesadas (M_0) e então colocadas em recipientes de polietileno contendo água destilada. Após o período de 24 horas, as amostras foram retiradas dos recipientes, o excesso de água foi removido com um papel toalha e as medidas finais (M_f) foram obtidas. Com base nos valores de massa (inicial e final), a porcentagem de retenção de água foi calculada utilizando a equação:

$$\text{absorção de água (\%)} = \frac{M_f - M_0}{M_0}$$

M_f refere-se à massa final (em gramas) após 24 horas, ao passo que M_0 corresponde à massa inicial da amostra, previamente seca em estufa.

2.2.4 Propriedades mecânicas

Os testes de propriedades mecânicas foram conduzidos usando um equipamento de teste universal eletrônico CMT6104 (MTS Industrial Systems Co., Ltd., Xangai, China). Para a análise de compressão (com 5 réplicas), foi empregada uma máquina de teste de impacto de feixe XJJ-5 (Jinjian Testing Instrument Co., Ltd., Chengde, China), conforme as diretrizes do padrão GB/T 1043.1-2008. As amostras possuíam dimensões de 100 mm x 10 mm x 7 mm.

2.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

A análise da morfologia da superfície dos compósitos foi realizada por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As amostras foram preparadas para a análise por pulverização com uma camada de ouro-paládio (utilizando o Polaron SC 7620 Sputter Coater da Quorum Technologies, Newhaven, Reino Unido), com uma espessura de 10 nm (10-15 mA), em um ambiente de vácuo. O MEV (modelo JSM-6500F, microscópio eletrônico de varredura por emissão de campo, da JEOL no Japão) operou com uma voltagem de aceleração de 5 kV.

2.2.6 DSC

A análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC) foi conduzida utilizando um equipamento Shimadzu (modelo DSC60 Plus, Japão) com uma taxa de aquecimento de

10 °C por minuto, no intervalo de 20 a 350 °C, sob uma atmosfera de argônio com uma taxa de purga de 50 mL por minuto.

2.2.7 FTIR

Os espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras foram adquiridos utilizando um espectrofotômetro de infravermelho Agilent (modelo Cary 30, EUA). Para cada amostra, foram utilizados 3 mg juntamente com cerca de 100mg de KBr.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Material compósito

Os materiais compósitos plástico-madeira foram produzidos a partir de várias combinações de serragem (St), fibras de vidro (FG) não contínuas e polietileno de alta densidade (HDPE). Além disso, uma amostra composta apenas pela matriz (HDPE) foi produzida para fins de comparação. A Figura 1 representa todas as formulações após o processo de extrusão e usinagem para a realização dos ensaios de propriedades mecânicas (compressão). As imagens dos corpos de prova revelaram características distintas de acordo com a concentração do material de reforço. As amostras contendo serragem apresentaram uma aparência uniforme em toda a sua extensão.

Figura 1 - Compósitos plástico-madeira



Fonte: Autoria Própria (2023)

3.2 Propriedades físico-químicas

Os valores de densidade, bem como do HDPE após o processo de extrusão, estão resumidos na Tabela 1. A densidade variou na faixa de 780 a 987 kg/m³. Os valores de densidade dos WPCs exibiram um aumento conforme a serragem (St) foi adicionada. Em média, os resultados variaram cerca de 177 kg/m³ entre as amostras de 10St e 40St. As amostras contendo fibras naturais foram aquelas que demonstraram uma maior capacidade de retenção de água. Conforme previsto, a amostra que consistia apenas na matriz não demonstrou um ganho significativo de massa.

Tabela 1 - Propriedades físico-química dos materiais compósitos

Densidade (Kg/m ³)	Umidade (%)	Retenção de água
872	0,12±0,00	0,03±0,00
780	0,12±0,00	0,83±0,00
810	0,86±0,08	2,40±0,09
840	0,82±0,05	2,38±0,08
910	0,89±0,05	2,47±0,06

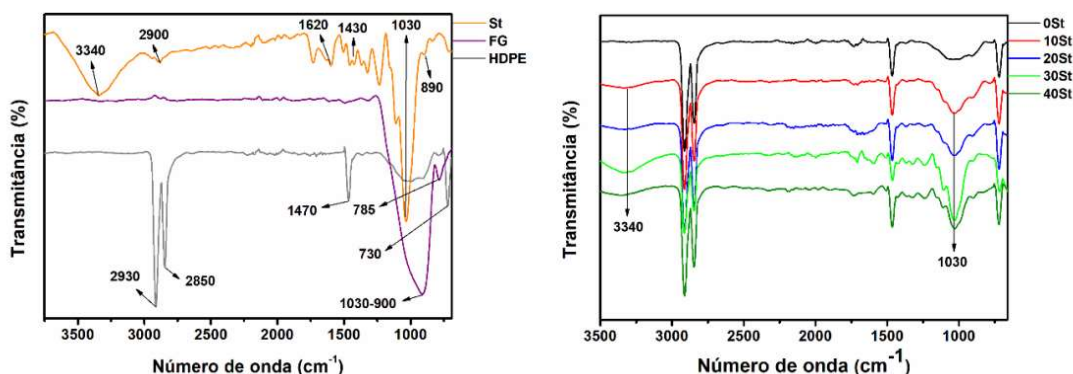
987	0,87±0,01	2,45±0,06
-----	-----------	-----------

Fonte: Autoria Própria (2023)

3.3 FTIR

Os espectros obtidos para as diferentes combinações de HDPE, serragem e fibra de vidro revelam a formação dos materiais compósitos. Todas as absorções registradas na matriz e nos materiais de reforço (St e FG) estão claramente presentes nos espectros das misturas presentes na Figura 2. Os sinais exclusivos dos precursores foram detectados nas misturas, o que confirma a formação dos materiais compósitos.

Figura 2 - Espectros de FTIR



Fonte: Autoria Própria (2023)

3.4 DSC

Na análise térmica, a serragem demonstrou dois picos endotérmicos em torno de 80°C e 240°C. O pico em 133°C observado para o polietileno corresponde à sua fusão. A fibra de vidro apresentou um sinal endotérmico não claramente definido próximo a 300°C, o que pode estar relacionado à transição vítrea do material que pode ocorrer nessa faixa de temperatura. A fibra sintética foi a que demonstrou a maior estabilidade térmica entre todos os precursores. Portanto, essa maior estabilidade térmica da FG pode ter sido transmitida às formulações 0St e 10St.

3.5 MEV

As fibras naturais são claramente observadas nas imagens de MEV, exibindo uma superfície irregular em toda a sua extensão. Por outro lado, as fibras de vidro possuem uma superfície mais regular, com uma geometria em forma de bastões de tamanhos variados. Em contraste, a superfície da matriz é mais uniforme, apresentando pouca rugosidade, o que sugere um material mais compacto.

3.6 EDS

O perfil atômico apresentado para o material de reforço natural (St) estava de acordo com o esperado, com cerca de 68% de átomos de carbono e 31% de átomos de oxigênio. O mapeamento dos átomos na formulação 0St indica a presença de características heterogêneas no material. Os átomos de silício, característicos das fibras de vidro, estão agrupados em algumas regiões da superfície da amostra, sugerindo que as fibras sintéticas não estão distribuídas de maneira uniforme no material. Por outro lado, nos materiais compósitos plástico-madeira (WPCs), a distribuição dos átomos ocorre de maneira mais dispersa ao longo da superfície.

3.7 Caracterização mecânica

Foram realizados ensaios mecânicos de compressão em todas as amostras. Os valores máximos de força, em kN, para cada compósito foram os seguintes: 11,034



(40St), 7,785 (30St), 4,788 (20St), 6,561 (10St), 0,978 (0St) e 7,383 (HDPE, controle). A formulação 0St demonstrou a menor resistência à compressão, enquanto as formulações 40St e HDPE (controle) foram as que ofereceram maior resistência à compressão do material. Esses resultados de compressão estão em concordância com os obtidos nas outras análises de caracterização.

4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram a possibilidade de produzir WPCs a partir da combinação de serragem de eucalipto, polietileno de alta densidade e fibra de vidro. Entre as formulações testadas, o material 40St apresentou a maior resistência à compressão. As análises de caracterização revelaram que é viável substituir 40% do HDPE por serragem, um subproduto da madeira, resultando em melhorias na resistência à compressão do material. Além disso, esses materiais exibem estabilidade térmica e baixa retenção de umidade, tornando-os adequados para uso em áreas com alta umidade e temperatura.

5. AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar reconhecimento a todos que contribuíram para este trabalho. Agradeço ao meu orientador, aos meus colegas de pesquisa pela colaboração e aos financiadores pelo suporte financeiro (CNPq) e ao Laboratório Multiusuário de Apoio à Pesquisa do Campus Apucarana - LAMAP. Este estudo não teria sido possível sem o apoio de todos vocês.

6. CONFLITO DE INTERESSE

Não há conflito de interesse.

7. REFERÊNCIA

Elsheikh, A. H., Panchal, H., Shanmugan, S., Muthuramalingam, T., El-Kassas, Ahmed. M., & Ramesh, B. (2022). Recent progresses in wood-plastic composites: Pre-processing treatments, manufacturing techniques, recyclability and eco-friendly assessment. *Cleaner Engineering and Technology*, 8(March), 100450. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100450>

Gardner, D. J., Han, Y., & Wang, L. (2015). Wood–Plastic composite technology. *Current Forestry Reports*, 1(3), 139–150. <https://doi.org/10.1007/s40725-015-0016-6>

Jiang, L., Wolcott, M. P., Zhang, J., & Englund, K. (2007). Flexural properties of surface reinforced wood/plastic deck board. *Polymer Engineering & Science*, 47(3), 281–288. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pen.20705>

Liu, C., Luan, P., Li, Q., Cheng, Z., Sun, X., Cao, D., & Zhu, H. (2020). Biodegradable, Hygienic, and Compostable Tableware from Hybrid Sugarcane and Bamboo Fibers as Plastic Alternative. *Matter*, 3(6), 2066–2079. <https://doi.org/10.1016/j.matt.2020.10.004>

Liu, R., Zhang, Y., Bai, L., Huang, M., Chen, J., & Zhang, Y. (2014). Synthesis of cellulose-2,3-bis(3,5-dimethylphenylcarbamate) in an ionic liquid and its chiral separation efficiency as stationary phase. *International Journal of Molecular Sciences*, 15(4), 6161–6168.