AVALIAÇÃO DO USO DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL COMO CARGA PARA A PREPARAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA

Pedro Borges Barcelos (PIC/UEM), Flávio Clareth Colman, André Luiz Cazetta (Orientador). E-mail: alcazetta@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Maringá, PR.

Área e subárea do conhecimento: Engenharia de Materiais e Metalúrgica / Materiais Não-Metálicos / Polímeros, Aplicações.

Palavras-chave: resíduos; propriedades; sustentabilidade.

RESUMO

Este trabalho avaliou a adição de finos de carvão vegetal (FC-425, 425–250 µm) ao polipropileno reciclado (PPr) nas proporções de 5%, 10% e 20% em massa. Os compósitos foram extrudados e moldados. A análise por MEV revelaram cavidades na estrutura do agente de carga, enquanto a análise termogravimétrica confirmou que a matriz possui estabilidade térmica na temperatura de processamento. A partir dos dados dos ensaios de compressão, foram obtidos os seguintes valores de módulos de elasticidade: 448 MPa (PPr), 452 MPa (5%), 528 MPa (10%) e 533 MPa (20%). Os resultados mostraram que as adições de 10% e 20% aumentaram a rigidez dos compósitos, indicando o reforço da matriz polimérica pelos finos de carvão vegetal.

INTRODUÇÃO

Os compósitos podem ser definidos como um material obtido por meio da combinação de dois ou mais constituintes, dando origem a um novo material com propriedades físico-químicas únicas, quando comparado aos seus constituintes individuais. Nesse contexto, os compósitos poliméricos têm se destacado como uma classe estratégica de materiais no que tange a transição para uma economia de baixo carbono, especialmente devido à sua elevada relação resistência/densidade, versatilidade de processamento e possibilidade de adequação às demandas específicas de Engenharia (SLAMANI et al., 2026).

No âmbito das matrizes poliméricas, o polipropileno (PP) destaca-se como um dos termoplásticos mais empregados na indústria. Em termos de reforços, uma alternativa pouco explorada e que se apresenta viável, são os finos de carvão vegetal. Estima-se que entre 25% e 35% do volume total de carvão vegetal produzido seja convertido em finos, os quais constituem um passivo ambiental e um desafio logístico e econômico significativo para os produtores de carvão vegetal (MOREIRA, 2023). Dessa forma, o desenvolvimento de compósitos de polipropileno reciclado reforçados com finos de carvão vegetal representa uma oportunidade relevante para avanço científico e tecnológico, contribuindo para a sustentabilidade e valorização de resíduos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os finos de carvão vegetal (FCs) foram fornecidos pela Carvoaria Festeiro, situada no município de Maringá, Paraná. Após a coleta, o material foi transportado ao laboratório, onde foi submetido à separação granulométrica com auxílio de um agitador de peneiras da marca Bertel. A fração granulométrica entre 425 e 250 µm (FC-425) foi selecionada para a produção dos compósitos de matriz polimérica.
Os compósitos foram produzidos utilizando o polipropileno reciclado (PPr) como matriz polimérica, ao qual foram adicionadas as cargas de 5, 10 e 20%, em massa, de FCs. A etapa de mistura e homogeneização dos materiais foi realizada em uma extrusora Thermo Scientific, modelo Mini Lab II Haake Rheomex, equipada com parafusos cônicos duplos na configuração co-rotante. O processamento foi conduzido a temperatura de 200ºC, com rotação de 60 rpm e tempo de circulação de 10 min. Os corpos de prova destinados ao ensaio de compressão foram fabricados utilizando uma embutidora Pantec, modelo Panpress–30, consistindo de 40 min de moldagem a 200 °C, sob carga constante de 1 kgf, seguido de 20 min resfriando sob a mesma carga e 10 min de resfriamento sem aplicação de carga. As características morfológicas do FC-425 foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), empregando um equipamento Shimadzu, modelo SS-500. O ensaio de compressão foi realizado para o PPr e os compósitos, conforme a norma ISO 604:2002, utilizando uma máquina universal de ensaios, EMIC DL 10000, equipada com uma célula de carga de 20 kN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Fig. 1a-b abaixo, apresenta as micrografias para o FC-425 nas ampliações de 300 e 1500 vezes.

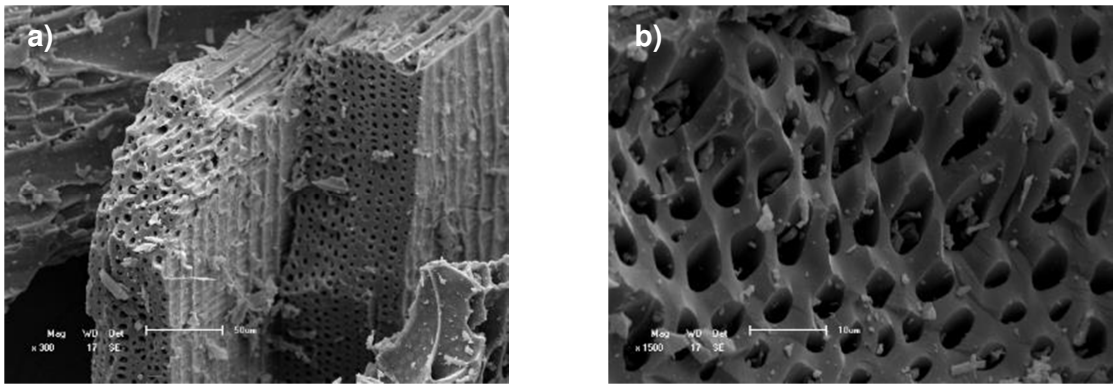


Figura 1 – Imagens de MEV dos FCs para a faixa de granulometria entre 425 e 250 µm.

Como pode ser observado na Fig. 1a, a estrutura do FC-425 apresenta um perfil característico de materiais carbonáceos derivados de fontes lignocelulósicas. Essa estrutura se caracteriza pela presença de um número elevado de cavidades, como mostrado na Fig. 1b. Para a produção de materiais compósitos de matriz polimérica, essa característica morfológica é desejável, uma vez que o PPr fundido pode permear essas cavidades, potencializando a interação entre a matriz e a carga. A

estabilidade térmica da matriz (PPr) e do agente de carga (FC-425) foi avaliada por meio dos termogramas de TGA e DTG, os quais são mostrados na Fig. 2a-b abaixo.

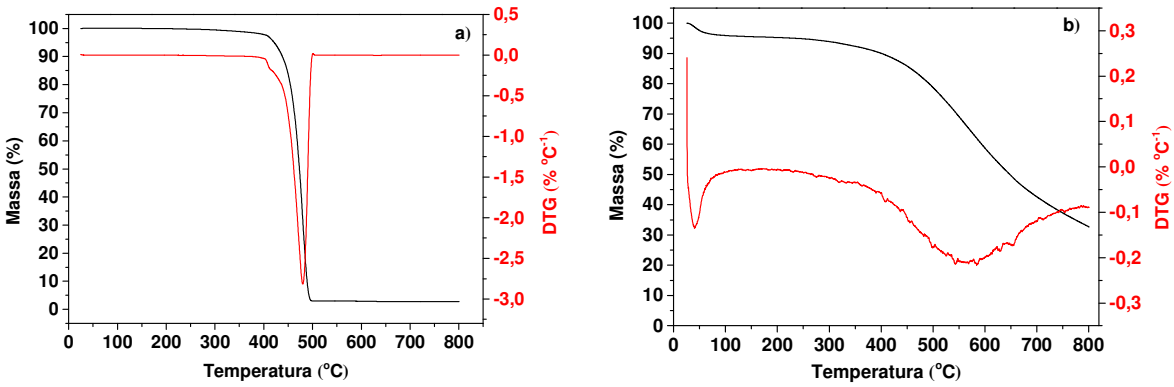


Figura 2 – Curvas de TGA/DTG para o PPr (a) e para o FC-425 (b).

A partir da análise da Fig. 2a, observa-se que, na faixa entre ≈ 25°C e 380°C, não há variação significativa no percentual de perda de massa, indicando a região de estabilidade térmica do polímero. O principal evento térmico evidenciado pela curva de DTG (Fig. 5b) ocorre na região de 480ºC e está associado à degradação térmica do polipropileno. Já a Fig. 2b apresenta o perfil de comportamento térmico do FC-425, onde podemos observar dois eventos característicos. O primeiro deles está associado à perda de umidade do material. O segundo evento térmico observado encontra-se na região de 560ºC, sendo associado à degradação da celulose e lignina remanescente. Em 800ºC, a massa remanescente do FC-425 foi de, aproximadamente, 33%. Os termogramas indicam que, tanto a matriz, quanto o agente de carga possuem estabilidade térmica na temperatura de processamento dos compósitos (200ºC).

A Fig. 3 abaixo apresenta os valores do módulo de elasticidade à compressão para o PPr e para os compósitos obtidos pela incorporação do FC-425 em diferentes proporções à matriz polimérica.

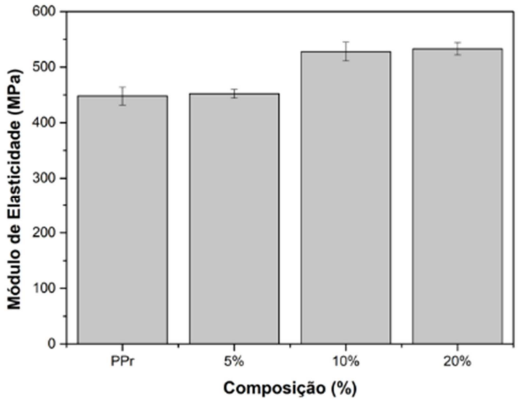


Figura 3 – Módulo de elasticidade à compressão do PPr e dos compósitos contendo diferentes porcentagens de FC-425.

Como pode ser observado a partir da Fig. 3, o PPr apresentou um módulo de elasticidade de 448 ± 16 MPa. Para os compósitos contendo 5, 10 e 20% de FC-425, os valores obtidos foram de 452 ± 8 MPa, 528 ± 17 MPa e 533 ± 11 MPa, respectivamente. A adição de 5% de FC-425 praticamente não alterou o módulo de elasticidade, pois o aumento foi de aproximadamente 1% em relação ao PPr. Para as composições contendo 10% e 20%, foram observados aumentos de aproximadamente 18% e 19%, respectivamente. Esses resultados mostram que a adição de maiores quantidades de FC-425 aumentou a rigidez dos compósitos. Os valores obtidos são superiores ao relatado por KHAIRI et al. (2025), os quais utilizaram 60%, em massa, de grafite como reforço obtiveram 170 GPa de módulo de elasticidade. Já SHOJAEI et al. (2026) relataram a preparação de um compósito híbrido de fluoreto de polivinilideno/polipropileno/grafite, o qual apresentou módulo de elasticidade à compressão variando entre 100 e 200 MPa para os percentuais de 20 a 60%, em massa, de grafite.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que os finos de carvão vegetal podem ser utilizados na produção de compósitos de polipropileno reciclado. As análises térmicas indicaram que o PPr e o FC-425 permaneceram estáveis na temperatura utilizada durante o processamento. A adição de 5% de FC-425 praticamente não alterou o módulo de elasticidade do material. Por outro lado, as composições contendo 10% e 20% apresentaram aumentos de aproximadamente 18% e 19%, respectivamente. O maior módulo médio foi obtido para o compósito contendo 20% de FC-425, com valor de 533 ± 11 MPa. Portanto, o uso de maiores quantidades de FC-425 aumentou a rigidez dos compósitos e apresentou potencial como alternativa para o aproveitamento desse resíduo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao COMCAP/UEM pelas análises realizadas.

REFERÊNCIAS

KHAIRI, S., et al. **Optimizing Conductive Polymer Composites: The Role of Graphite Particle Size and Concentration in PVDF, PP, and PET Matrices**. Journal of Composite Science, 2025, v. 9, pp. 178.

MOREIRA, V. **Usos alternativos dos finos do carvão vegetal na indústria**. Sociedade de Investigações Florestais, 2023. Disponível em: https://sif.org.br. Acesso em: 28 ago. 2026.

SHOJAEI, S., et al. **Synergistic effect of graphite fillers onelectrical and mechanical properties ofCo-continuous PVDF/PP composites**. Journal of Reinforced Plastics & Composites, 2026, v. 45, pp. 1580-1595.

SLAMANI, M. et al. **Next-generation composite materials and manufacturing**. Advanced Materials Technologies, 2026, v. 11, p. e01409.