

## **ANÁLISE MECÂNICA A LONGO TERMO DE *WOOD-PLASTIC COMPOSITES* INTEMPERIZADOS CARREGADOS COM ÓXIDO DE COBRE OBTIDO POR ROTA VERDE**

AUGUSTO SANTOS DO NASCIMENTO<sup>1</sup>; MARLON BENDER BUENO RODRIGUES<sup>2</sup>; LUCAS FERREIRA DO NASCIMENTO<sup>2</sup>; FERNANDA LANGONE<sup>2</sup>; AMANDA DANTAS DE OLIVEIRA<sup>2</sup>; ANDRÉ LUIZ MISSIO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – [gutosdn@hotmail.com](mailto:gutosdn@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [marlonbueno50@gmail.com](mailto:marlonbueno50@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [lucasferreira0698@gmail.com](mailto:lucasferreira0698@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [ferlangone@gmail.com](mailto:ferlangone@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – [amandaoliveira82@gmail.com](mailto:amandaoliveira82@gmail.com)

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – [andreluizmissio@gmail.com](mailto:andreluizmissio@gmail.com)

### **1. INTRODUÇÃO**

Os compósitos de madeira e plástico (WPCs) são materiais que combinam partículas de madeira com uma matriz de polímero termoplástico, resultando em um material que possui propriedades mecânicas superiores aos seus constituintes em separado. Com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) estimada em 9,3% para o período de 2018-2025 (Grand View Research, 2020), o futuro desses materiais se mostra promissor. Devido à sua durabilidade, leveza e resistência ao intemperismo, os WPCs vêm ganhando popularidade em aplicações ao ar livre como revestimentos e cerca. A crescente demanda por WPCs está ligada não apenas às suas qualidades estéticas, mas também às suas características sustentáveis, como a utilização de resíduos de madeira e a possibilidade de reciclagem.

No entanto, a exposição prolongada ao ambiente natural, especialmente à radiação ultravioleta (UV), pode causar degradação significativa dos WPCs. Esse processo de degradação, conhecido como intemperismo, afeta tanto a madeira quanto a matriz polimérica, levando a alterações de cor, redução da resistência mecânica, fissuras na superfície e aumento da absorção de água, gerando um efeito em cadeia de degradação (Dong *et al.*, 2022). A fotodegradação é um dos principais fatores de preocupação, pois a radiação UV pode provocar a quebra das cadeias de lignina na madeira, bem como a oxidação de grupos funcionais na matriz polimérica, resultando em descoloração, deterioração da superfície e redução de suas propriedades mecânicas (Acosta *et al.*, 2024).

A busca por alternativas mais ecológicas para tanto para mitigar os efeitos do intemperismo como a produção de WPCs tem sido um foco de pesquisa significativo. A incorporação de aditivos estabilizadores em polímeros e compósitos, como absorvedores de UV e antioxidantes, é uma prática comum, mas ainda há desafios na prevenção completa da degradação (Das *et al.*, 2023). Uma abordagem promissora é o uso de óxidos metálicos, como o óxido de cobre, que possuem propriedades fotoprotetoras e antioxidantes. Este estudo visa explorar a produção de óxido de cobre a partir de um extrato vegetal, buscando uma solução mais sustentável e ambientalmente amigável para melhorar a resistência dos WPCs ao intemperismo.

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi investigar a eficácia do óxido de cobre produzido a partir de fontes vegetais na proteção dos WPCs contra os efeitos prejudiciais da exposição ao ambiente externo. Acredita-se que essa

abordagem não apenas aumente a durabilidade dos WPCs, mas também contribua para o desenvolvimento de materiais de construção mais sustentáveis e ecologicamente corretos.

## 2. METODOLOGIA

Serragem de madeira foi doada pela empresa Sena Madeiras. Após secagem em estufa Quimis Q317M-52 a 60°C até atingir temperatura ambiente, a madeira foi moída em um moinho de facas MA 340 Marconi. Com o pó resultante, as partículas foram direcionadas à etapa de peneiragem, onde as partículas que passaram através da peneira 40 mesh e foram retidas na peneira 60 mesh foram utilizadas (*i.e.* com suas dimensões estando na faixa de 250–420 micrômetros de diâmetro).

Em uma propriedade localizada em Morro Redondo, Brasil (31°34'59"S; 52°39'08"W) folhas da espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden foram coletadas durante o mês de outubro. O processo de extração ocorreu com 10 g do pó de folhas em um Erlenmeyer contendo 100 mL de água deionizada, direcionado a um banho termostático a 80 °C por 75 minutos. Subsequentemente, 1 grama do sal precursor (acetato de cobre —  $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , adquirido da Dinâmica Química Contemporânea) foi misturado a 20 mL do extrato de folhas e agitado magneticamente a 80 °C durante 20 minutos. Após isso, a solução foi transferida para cápsulas de evaporação e direcionadas a muflas (sem pré-aquecimento) por 2 horas a 300 °C, com uma taxa de aquecimento de 12 °C/min. O produto obtido, óxido de cobre, foi macerado com auxílio de almofariz.

Polietileno verde de alta densidade (grade SLD4004) foi cedido pela Braskem (Triunfo, Brasil) e foi utilizado como matriz polimérica dos WPCs. Para a produção dos WPCs, os particulados foram misturados com agitação manual em um container de vidro isolado. A quantidade relativa de polímero e madeira, para todas as composições testadas, foi mantida igual (50 wt%/50 wt%), com variações nas concentrações de CuO utilizado (0%, 1%, 2% e 4%). Os materiais foram moldados em uma prensa termohidráulica Marconi MA 098/AR15 a 175 °C durante 10 minutos, com pressão de 8 toneladas.

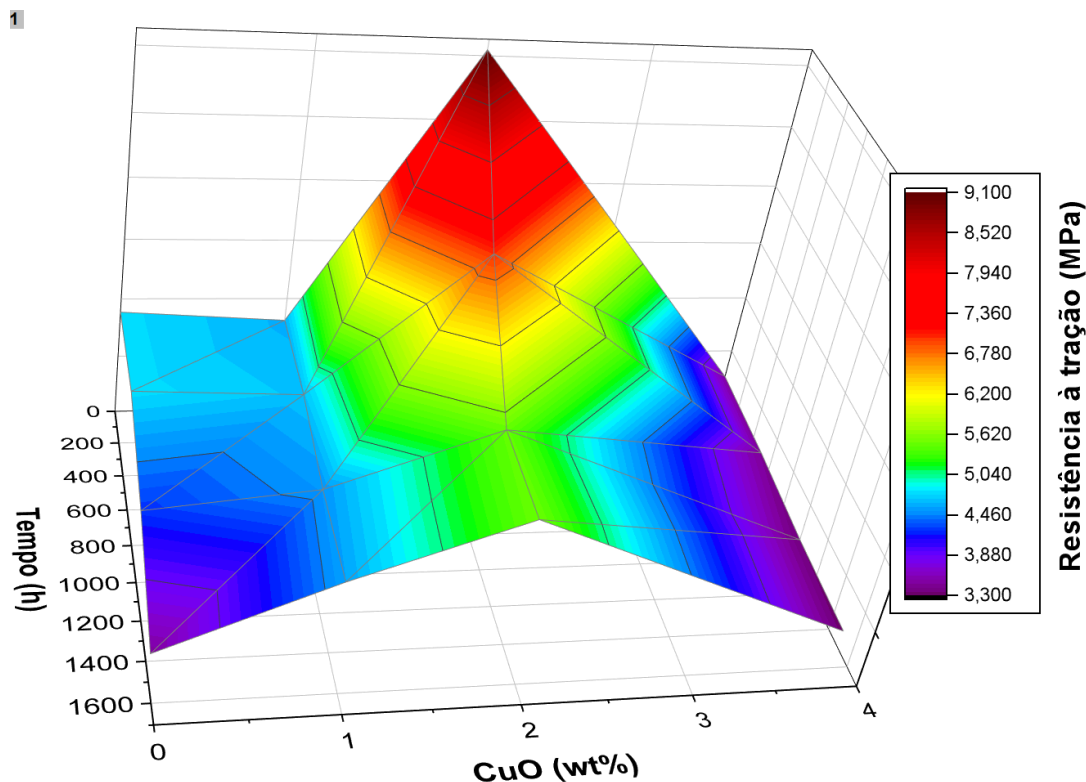
O intemperismo acelerado ocorreu em um equipamento UUV-STD-SPRAY-4400. A temperatura da câmara ao longo do ensaio foi 60 °C, com o processo ao todo durando 1500 horas. Ciclos de 8 h de radiação UV, 20 min de lixiviação (para simular chuva) e 4 h de orvalho foram repetidos consecutivamente, com amostras sendo retiradas da câmara a cada 500 h. Após o intemperismo, os corpos de prova em formato gravata foram direcionados para ensaio mecânico de tração em uma máquina de testes universal EMIC DL500, com uma velocidade de 5 mm/min e célula de 1000 N, de acordo com os parâmetros da ASTM D638.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a resistência à tração dos WPCs a cada 500 horas, com concentrações variadas de CuO. A presença e quantidade de CuO presente nos materiais impactou consideravelmente seus estresses mecânicos suportados. Reações de degradação em polímeros lignocelulósicos envolvem a hidrólise de celulose e hemicelulose (provavelmente não evitadas pela presença de CuO), quebradas em monômeros de glicose através da ação da água (Bouramdane *et al.*,

2022) e a fotodegradação da lignina, gerando radicais livres que atacam celulose e hemicelulose (Zhang *et al.*, 2022)

**Figura 1:** Gráfico 3D da resistência à tração apresentada pelos WPCs ao longo de 1500 h.



Na Figura, é explícita a maior resistência inicial suportada pelo WPC/CuO2% às 500 horas (6,4 MPa), ao passo em que o WPC sem acréscimo de CuO apresenta valor médio de 4,8 MPa. Tal elevada resistência inicial parece indicar um maior efeito sinérgico do óxido produzido nessa concentração, já que, além de ser a maior entre todas as composições analisadas, também aparenta as maiores capacidades de proteção ao longo das horas em que o estudo ocorreu.

Acima de 2%, o CuO aparenta ter agido de maneira adversa, prejudicando as propriedades do WPC. Isso pode ocorrer por conta de uma saturação do óxido, que pode criar pontos de tensão ou defeitos dentro do compósito, comprometendo sua integridade estrutural. Além disso, o excesso de CuO pode prejudicar a dispersão uniforme na matriz, resultando em regiões com propriedades desiguais, afetando a resistência geral do material, conforme observado em outras tendências na literatura (Cazan; Enesca; Andronic, 2021; Goyat *et al.*, 2021). Outra hipótese formulada para o fenômeno observado é a redução da eficácia de absorção de radiação UV pelo CuO em concentrações maiores que 2%, podendo interagir com tal radiação de maneira a transmiti-la ou refleti-la para a matriz polimérica. Isso provocaria a aceleração de reações de degradação através da transferência de energia do próprio CuO para o polietileno na forma de calor ou outros processos fitoquímicos, aumentando sua taxa de degradação ao invés de protegê-lo.

## 4. CONCLUSÕES

Para as composições testadas, a adição de 2% do CuO sintetizado a partir do extrato de folhas de *Eucalyptus dunnii* foi capaz de aumentar a resistência à tração experienciada pelo WPC, enquanto a adição de 1% foi a responsável pela menor variação da resistência experienciada pelos materiais ao fim das 1500 horas. Próximas etapas do trabalho envolvem a realização de análises físicas (como ensaios de densidade, molhabilidade da superfície, visualização microscópica) e químicas (como espectroscopia no infravermelho e espectroscopia de fotoelétrons excitados por raios X) para compreensão adequada dos fenômenos relativos à degradação experienciada pelos WPCs.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOSTA, Andrey Pereira *et al.* Superficial analysis of different wood polymer composites exposed to artificial weathering. **Journal of Wood Chemistry and Technology**, [s. l.], p. 1–14, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02773813.2023.2299814>.
- BOURAMDANE, Yousra *et al.* Impact of Natural Degradation on the Aged Lignocellulose Fibers of Moroccan Cedar Softwood: Structural Elucidation by Infrared Spectroscopy (ATR-FTIR) and X-ray Diffraction (XRD). **Fermentation**, [s. l.], v. 8, n. 12, p. 698, 2022.
- CAZAN, Cristina; ENESCA, Alexandru; ANDRONIC, Luminita. Synergic Effect of TiO<sub>2</sub> Filler on the Mechanical Properties of Polymer Nanocomposites. **Polymers**, [s. l.], v. 13, n. 12, p. 2017, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/12/2017>.
- DAS, Subrata Chandra *et al.* Effect of accelerated weathering on the performance of natural fibre reinforced recyclable polymer composites and comparison with conventional composites. **Composites Part C: Open Access**, [s. l.], v. 12, p. 100378, 2023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666682023000348>.
- DONG, Youming *et al.* Surface colour and chemical changes of furfurylated poplar wood and bamboo due to artificial weathering. **Wood Material Science and Engineering**, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 168–175, 2022.
- GOYAT, M.S. *et al.* Role of non-functionalized oxide nanoparticles on mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy nanocomposites. **Ceramics International**, [s. l.], v. 47, n. 16, p. 22316–22344, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0272884221014693>.
- RESEARCH, Grand View. **Wood Plastic Composite Market Size, Share & Trends Analysis Report By Type (PE, PP, PVC), By Application (Building & Construction, Automotive Components, Industrial and Consumer Goods), By Region, And Segment Forecasts, 2020–2027**. [S. l.: s. n.], 2020.
- ZHANG, Ya-Hui *et al.* Study of the long-term degradation behavior of bamboo scrimber under natural weathering. **npj Materials Degradation**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 63, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41529-022-00273-x>.