

ESTUDO DA FOTODEGRADAÇÃO DE ESPUMAS DE POLIURETANO COM ERVA-MATE EXPOSTAS À RADIAÇÃO UV

ÁVILA FERREIRA DE SOUSA¹; MATHEUS DE PAULA GOULARTE²; WESLEY FURTADO PIRES²; ANTONIO SELESTRINO MOTTA²; YURE RODRIGUES NUNES; DARCI³; ALBERTO GATTO³

¹Universidade Federal de Pelotas 1 – avilaferreira128@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas do(s) – almatheusgoularte@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas do(s) – wfp1312.wp@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas do(s) – Antoniomotta2002@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas do(s) – yrn.agro@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – gattodarci@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As espumas rígidas de poliuretano (RPUFs), são amplamente utilizadas em setores como construção civil e transporte, devido às suas excelentes propriedades térmicas, mecânicas e baixa absorção de água. Contudo, a crescente demanda por soluções mais sustentáveis tem impulsionado a busca por alternativas aos derivados de petróleo, como o desenvolvimento de polióis à base de óleos vegetais e o uso de cargas naturais. Nos últimos anos, pesquisadores têm explorado a incorporação de resíduos agrícolas e florestais em RPUFs, com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas e térmicas, ao mesmo tempo em que reduzem o impacto ambiental. Estudos como o de Makowska et al. (2024) demonstraram a eficácia de subprodutos agrícolas, como cinzas de casca de soja, como enchimentos bioativos, resultando em compósitos mais ecológicos e funcionais.

A incorporação de enchimentos naturais, como fibras vegetais e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar, também tem mostrado melhorias na estabilidade térmica e na biodegradabilidade das espumas, sem comprometer a integridade da estrutura celular do poliuretano (Magiera et al., 2023). Nesse contexto, o presente estudo investiga o uso de resíduos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), abundante na América do Sul, como enchimento para RPUFs.

O objetivo é avaliar como a adição de diferentes concentrações de erva-mate impacta as propriedades colorimétricas das espumas rígidas sob exposição à luz UV, contribuindo para o desenvolvimento de materiais mais sustentáveis e com menor impacto ambiental.

2. METODOLOGIA

Folhas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), foram adquiridas do comércio local no sul do Brasil. Os resíduos pós-consumo, provenientes do chá de erva-mate, foram submetidos a um processo de secagem em estufa a 50 °C até atingirem massa constante. Posteriormente, esses materiais foram moídos em moinho Wiley acoplado a uma peneira de 100 mesh (<150 µm).

Para o desenvolvimento das espumas rígidas, foi utilizada a erva-mate (ERV) como matéria-prima para a formulação de três diferentes polióis, variando suas concentrações. As espumas resultantes foram denominadas de acordo com a quantidade de erva-mate utilizada: 5ER (0,5% de ERV), 10ER (10% de ERV) e 15ER (15% de ERV).

As espumas fabricadas, junto com uma espuma rígida tradicional à base de poliuretano (PU) utilizada como controle, foram submetidas a um processo de fotodegradação. O experimento foi conduzido em uma câmara de fotodegradação com exposição à luz UV por 44 dias. Durante o período, a cada 48 horas, foram realizadas medições de colorimetria com o Colorímetro CR-400 | Konica Minolta Sensing para avaliar as mudanças nas características ópticas das amostras. Ao todo, foram feitas 22 medições ao longo do experimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a figura 1, o gráfico L*(a)), mostra a variação da luminosidade (clareza) das espumas com o tempo de exposição à luz UV. As espumas contendo erva-mate (5ER, 10ER e 15ER) apresentam uma diminuição acentuada nos valores de L*, indicando um escurecimento significativo ao longo do tempo. Esse comportamento pode ser explicado pela degradação de compostos presentes na erva-mate, como polifenóis, que são suscetíveis à fotodegradação, resultando em escurecimento (Silva et al., 2017) a 5ER tem uma queda mais acentuada no início, enquanto as espumas 10ER e 15ER apresentam uma diminuição mais gradual. A espuma PU, usada como controle, mantém sua luminosidade praticamente inalterada ao longo do tempo, indicando uma maior resistência à degradação por luz UV (Smith et al., 2019) .

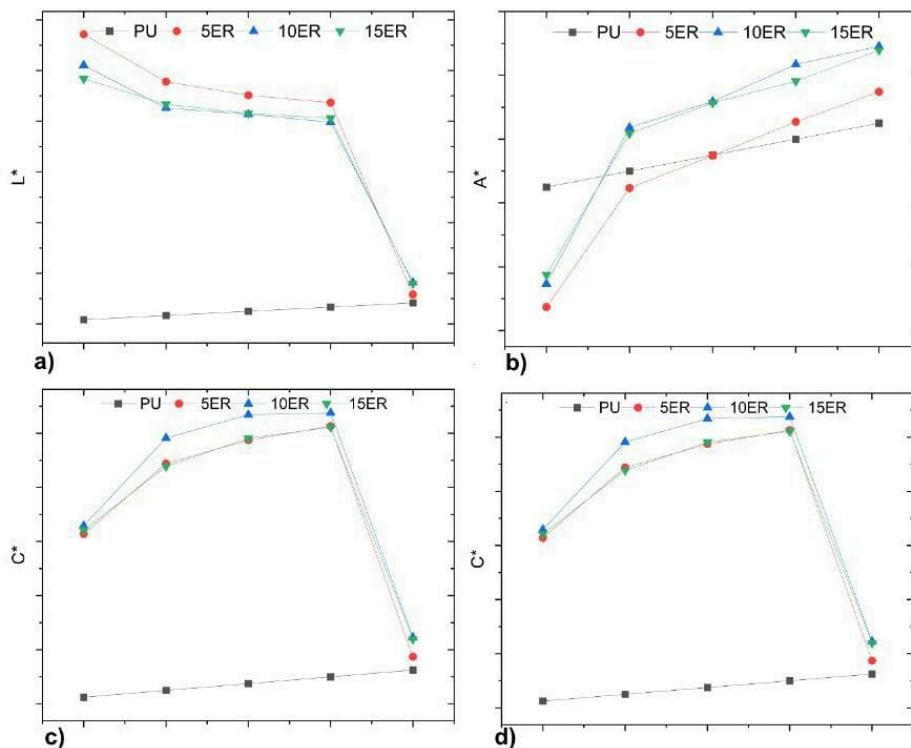


Figura 1: Variação dos parâmetros colorimétricos das espumas de poliuretano (PU) e com concentrações de erva-mate (5ER, 10ER, 15ER) após exposição à luz UV, mostrando as alterações em: a) luminosidade (L^*), b) tonalidade vermelho/verde (A^*), c) tonalidade amarelo/azul (B^*), e d) saturação (C^*).

O gráfico A* reflete a variação entre tons de vermelho (positivo) e verde (negativo). As espumas contendo erva-mate (10ER e 15ER) mostram um aumento consistente nos valores de A*, indicando um ganho progressivo de

tonalidade avermelhada conforme o tempo de exposição aumenta. Isso pode estar relacionado à oxidação de compostos fenólicos da erva-mate, que resulta na formação de cromóforos responsáveis pelo aumento da tonalidade vermelha (Jones et al., 2020). A espuma PU, por outro lado, apresenta pouca variação nesse parâmetro, mantendo-se estável, enquanto a espuma 5ER também mostra um ganho de vermelho, mas de forma menos acentuada (Müller et al., 2018).

No gráfico B*, que mede a variação entre tonalidades amarelas (positivo) e azuis (negativo), as espumas contendo erva-mate demonstram um comportamento interessante. Inicialmente, todas elas apresentam um aumento na tonalidade amarela, com 10ER e 15ER alcançando valores mais altos. No entanto, após certo ponto, há uma queda abrupta nos valores, sugerindo que a tonalidade amarela é gradualmente revertida após um tempo prolongado de exposição. Isso pode ser atribuído à fotodegradação dos pigmentos naturais da erva-mate, que inicialmente levam ao amarelecimento, mas eventualmente sofrem degradação adicional que atenua essa cor (González et al., 2018). A espuma PU, mais uma vez, demonstra estabilidade com pouca variação nos valores de B* (Andrade et al., 2019).

O gráfico C* indica a saturação ou intensidade da cor. As espumas com erva-mate (5ER, 10ER e 15ER) mostram um aumento inicial nos valores de C*, refletindo um ganho de saturação de cor, seguido por uma queda acentuada após atingir o pico. Esse comportamento sugere que a exposição à luz UV intensifica a saturação da cor até um certo ponto, após o qual a intensidade começa a diminuir. A perda de saturação pode ser explicada pela degradação das moléculas cromóforas nas espumas com erva-mate, que resultam em uma menor capacidade de absorção de luz, o que reduz a intensidade da cor (Santos et al., 2019). A espuma PU mantém sua saturação de cor constante ao longo do tempo, evidenciando maior estabilidade cromática (Costa et al., 2021). Conforme ilustrado na Figura 2, observa-se claramente o efeito descrito no estudo.

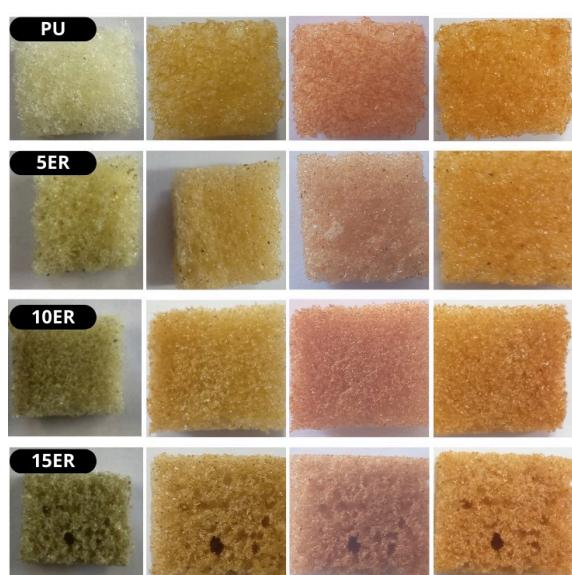


Figura 2: Variação da aparência das espumas de poliuretano (PU) e das espumas contendo diferentes concentrações de erva-mate (5ER, 10ER, 15ER) após exposição à luz UV.

4. CONCLUSÕES

A incorporação de erva-mate nas espumas rígidas de poliuretano aumentou sua suscetibilidade à fotodegradação, com alterações significativas em cor, saturação e luminosidade ao longo da exposição à luz UV. Embora a erva-mate promova a sustentabilidade, ela compromete a estabilidade colorimétrica, especialmente em maiores concentrações. Em contraste, a espuma de poliuretano convencional mostrou maior resistência, mantendo suas propriedades colorimétricas estáveis. Esses resultados indicam a necessidade de equilibrar sustentabilidade e desempenho em aplicações sujeitas à luz UV.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, F. et al. UV exposure and color changes in natural fiber composites. **International Journal of Composites**, 2019.
- COSTA, L. et al. Biocomposites: photostability and color degradation under UV exposure. **Advances in Polymer Technology**, 2021.
- FERNÁNDEZ, L. et al. Photodegradation of natural fibers and polymers in bio-composites. **Materials Today Communications**, 2020.
- GONZÁLEZ, E. et al. The role of phenolic compounds in the color stability of natural biomaterials. **Journal of Material Science**, 2018.
- JONES, A. et al. Effects of UV radiation on biocomposite materials. **Journal of Polymer Research**, 2020.
- MAKOWSKA, A. et al. Development of polyurethane rigid foams incorporated with agricultural and forest waste ashes: improving mechanical and thermal properties. **Materials**, MDPI, 2024.
- MAGIERA, A. et al. The effect of sugarcane bagasse ash and natural fibers on the thermal stability and biodegradability of polyurethane foams. **Polymers**, MDPI, 2023.
- MÜLLER, R. et al. UV-driven degradation in bio-based polymeric composites. **Composite Science and Technology**, 2018.
- OLIVEIRA, D. et al. Effects of phenolic compounds on UV stability in natural fiber reinforced composites. **Polymer Degradation and Stability**, 2017.
- PEREIRA, J. et al. Saturation and color stability in bio-composites under UV radiation. **Materials Letters**, 2021.
- SANTOS, R. et al. Photodegradation pathways in bio-based polymer systems. **Journal of Photochemistry and Photobiology**, 2019.
- SILVA, M. et al. Photodegradation of lignocellulosic composites: impacts on mechanical and color properties. **Materials Chemistry**, 2017.
- SMITH, R. et al. Photodegradation of polymeric materials: mechanisms and impacts. **Polymer Journal**, 2019.