



## EFEITO DO USO DE DIFERENTES ADITIVOS NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS DE COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS REFORÇADOS COM FIBRAS VEGETAIS

KIEFFER, V. Z.<sup>1\*</sup>; SANTANA, R. M. C.<sup>1</sup>

1 - Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAT), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.  
[vanessa.kieffer@gmail.com](mailto:vanessa.kieffer@gmail.com)

### RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes aditivos de origem natural em compósitos com matriz polimérica de Polietileno de Alta Densidade pós-consumo (PEADpc), reforçados com 30% de Fibra de Curauá (FC). Foram analisados os seguintes aditivos: Polietileno graftizado com Anidrido Maleico (PEgAM), Ácido Cítrico (AC), resina colofônia (Breu) e Lignina de Pinus (LP), todos incorporados à formulação PEADpc/30FC na proporção mássica de 3%. A caracterização reológica dos compósitos foi conduzida por meio do ensaio de Índice de Fluidez (MFI) em três temperaturas distintas: 190, 210 e 230 °C. Os resultados indicaram que a incorporação de AC e Breu aumentou significativamente o MFI dos compósitos em comparação com os materiais compósitos sem aditivos (s/AA). Esses resultados sugerem que aditivos de fontes naturais podem facilitar a eficiência do processamento, facilitando o preenchimento dos moldes de injeção e aprimorando a qualidade dos produtos fabricados.

**Palavras-chave:** *propriedades reológicas, índice de fluidez, energia de ativação, fibra de curauá, compósito termoplástico.*

### INTRODUÇÃO

Os polímeros termoplásticos reforçados com fibras vegetais têm se destacado por suas notáveis propriedades mecânicas e características sustentáveis <sup>(1, 2)</sup>. Esses compósitos possuem um significativo potencial para substituir materiais convencionais em diversos setores industriais <sup>(3)</sup>. No entanto, a eficácia desses compósitos pode ser comprometida pela fraca adesão interfacial entre a fibra vegetal e a matriz polimérica. Essa limitação decorre da presença de grupamentos hidrofílicos nas fibras vegetais, que conferem características polares, contrastando com os polímeros olefínicos, que possuem características apolares, resultando em incompatibilidade entre os componentes <sup>(4)</sup>.

Cada sistema fibra-matriz possui uma interface única, sendo necessário melhorar essa interação interfacial para garantir propriedades satisfatórias dos materiais

compósitos. Tradicionalmente, isso pode ser alcançado por meio de tratamentos químicos nas fibras vegetais ou na matriz polimérica. Métodos como a marcerização, silanização e acetilação têm se mostrado eficazes na otimização da compatibilidade entre os componentes, promovendo uma melhor adesão na interface fibra-matriz <sup>(4-6)</sup>. No entanto, a utilização de compostos químicos nesses processos pode levar à toxicidade e a impactos ambientais adversos.

Uma abordagem alternativa envolve a adição de auxiliares de processamento e agentes compatibilizantes, como polímeros funcionalizados com anidrido maleico. Estudos mostram que a modificação química da matriz polimérica com anidrido maleico pode melhorar a adesão no sistema fibra-matriz <sup>(7-10)</sup>. Contudo, apesar dos benefícios na adesão interfacial, agentes de acoplamento sintéticos podem atuar como pró-degradantes na matriz polimérica <sup>(11)</sup>.

Diante desses desafios, técnicas que não geram resíduos ambientais estão sendo exploradas para aprimorar as propriedades dos polímeros reforçados com fibras vegetais. A limpeza superficial das fibras com água destilada, por exemplo, pode reduzir impurezas e aumentar a rugosidade da superfície, favorecendo a adesão na interface fibra-matriz <sup>(12-14)</sup>. Além disso, a utilização de ácidos orgânicos e óleos naturais como aditivos surge como uma alternativa ambientalmente amigável. Estudos indicam que esses aditivos podem atuar como agentes de acoplamento e de fluxo, melhorando tanto a adesão entre fibra e matriz quanto a processabilidade dos compósitos <sup>(15-21)</sup>. A incorporação desses aditivos naturais pode otimizar a interação interfacial, promovendo uma distribuição mais homogênea e uma adesão mais eficaz, o que resulta em melhorias nas propriedades mecânicas, térmicas e reológicas dos compósitos.

Nesse contexto, a investigação das propriedades reológicas torna-se fundamental para entender o comportamento dos compósitos sob diferentes condições de processamento, especialmente para processos como moldagem por injeção e extrusão. A reologia influencia na capacidade do material de preencher moldes uniformemente, minimizando defeitos como bolhas e áreas mal preenchidas, além de garantir uma distribuição homogênea das fibras na matriz, o que impacta na eficácia do reforço das fibras e o desempenho mecânico do compósito <sup>(22, 23)</sup>.

Nesse sentido, o presente estudo avalia o efeito do uso de diferentes aditivos nas propriedades reológicas de compósitos termoplásticos de polietileno de alta densidade pós-consumo (PEADpc) reforçados com fibras de curauá (FC). A análise

do índice de Fluidez (MFI) e Energia de Ativação ( $E_a$ ) em função dos diferentes aditivos e temperaturas proporciona uma compreensão detalhada sobre a influência desses aditivos na fluidez do material, auxiliando na otimização do processo de moldagem por injeção e contribuindo para o avanço na utilização de materiais sustentáveis na indústria de compósitos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais

Para a formulação dos materiais compósitos, foi utilizado o Polietileno de Alta Densidade pós-consumo (PEADpc), proveniente de potes e embalagens, como matriz polimérica, e a Fibra de Curauá (FC) como reforço.

Os aditivos utilizados incluíram o Polietileno graftizado com Anidrido Maleico (PEgAM), fornecido pela Cristal Master; o Ácido Cítrico (AC), da Êxodo Científica; a resina colofônia, conhecida como Breu, obtida por destilação da goma extraída das árvores coníferas da família *Pinaceae*; e a Lignina de Pinus (LP), fornecida pela ARTECOLA Indústrias Químicas Ltda e obtida a partir do processo *kraft* na indústria de papel e celulose. As composições, em porcentagem mássica, das amostras são especificadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Composições mássicas das amostras avaliadas.

| Amostras | PEADpc (%) | FC (%) | Aditivos (%) |
|----------|------------|--------|--------------|
| PEADpc   | 100        | -      | -            |
| s/AA     | 70         | 30     | -            |
| AC       | 67         | 30     | 3            |
| Breu     | 67         | 30     | 3            |
| LP       | 67         | 30     | 3            |

Seguidamente, os materiais foram misturados e homogeneizados na câmara de mistura (Thermo Scientific HAAKE™ PolyLab OS) para a obtenção do compósito, o qual foi submetido a um processo de redução granulométrica em um moinho de facas micro (SOLAB SL-30). Posteriormente, os corpos de prova foram confeccionados através de moldagem por injeção em uma mini injetora de pistão (Thermo Scientific

HAAKE™ Mini-Jet II) e cortados manualmente em grânulos para a realização da caracterização reológica.

### Métodos de Caracterização

As propriedades reológicas das amostras foram determinadas por meio do ensaio de Índice de Fluidez (MFI), utilizando o plastômetro de extrusão CEAST, modelo 7026.000. O ensaio foi conduzido de acordo com a metodologia descrita na norma ASTM D1238. O MFI (g/10 min) foi calculado usando a Equação (1), e o erro padrão (%) foi obtido conforme a Equação (2).

$$MFI \left( \frac{g}{10min} \right) = \frac{massa (g) \times 10}{tempo de corte (min)} \quad (1)$$

$$Erro (\%) = \frac{(maior medida de MFI - menor medida de MFI)}{(menor medida de MFI)} \times 100\% \quad (2)$$

Para obter a Energia de Ativação ( $Ea$ ) do Fluxo Viscoso, o ensaio foi realizado em três temperaturas distintas. Os parâmetros utilizados no ensaio de MFI estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2** – Parâmetros utilizados no ensaio de Índice de Fluidez.

| Temperatura (°C) | Carga (kg) | Tempo de Residência (s) | Tempo de Corte (s) |
|------------------|------------|-------------------------|--------------------|
| 190              | 21,6       | 240                     | 20                 |
| 210              | 21,6       | 240                     | 15                 |
| 230              | 21,6       | 240                     | 10                 |

A equação de Arrhenius, Equação (3), descreve a dependência das taxas de reação em relação à temperatura e pode ser utilizada para modelar o comportamento do fluxo em polímeros em função da temperatura.

$$k = A \cdot e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (3)$$

Onde, k é a constante de taxa, A é o fator pré-exponencial,  $Ea$  é a Energia de Ativação (J/mol), R é a constante dos gases (8,314 J/mol.K) e T é a temperatura absoluta (K).

O MFI, que mede a taxa de fluxo de um polímero fundido através de um capilar com diâmetro específico sob uma carga determinada, é inversamente relacionado à viscosidade do polímero fundido a uma taxa de cisalhamento constante. A viscosidade, por sua vez, segue uma dependência de temperatura do tipo Arrhenius, diminuindo exponencialmente com o aumento da temperatura. Considerando essa relação entre viscosidade e temperatura, a Equação (3) pode ser modificada para ajustar o MFI, conforme mostrado na Equação (4).

$$MFI = B \cdot e^{-\frac{Ea}{RT}} \quad (4)$$

Onde, B é o fator pré-exponencial diferente que se ajusta aos dados de MFI, e  $Ea$  é a Energia de Ativação do Fluxo Viscoso (J/mol).

Tomando o logaritmo natural de ambos os lados, obtém-se a Equação (5).

$$\ln(MFI) = \ln(B) + \frac{Ea}{RT} \quad (5)$$

Esta equação linear pode ser reorganizada, resultando na Equação (6).

$$\ln(MFI) = \ln(B) + \frac{Ea}{R} \left( \frac{1}{T} \right) \quad (6)$$

Assim, para determinar a Energia de Ativação ( $Ea$ ), calcula-se a inclinação da reta do gráfico do logaritmo natural de MFI ( $\ln(MFI)$ ) em função do recíproco da temperatura ( $1/T$ ), onde T representa as temperaturas utilizadas, expressas em Kelvin.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

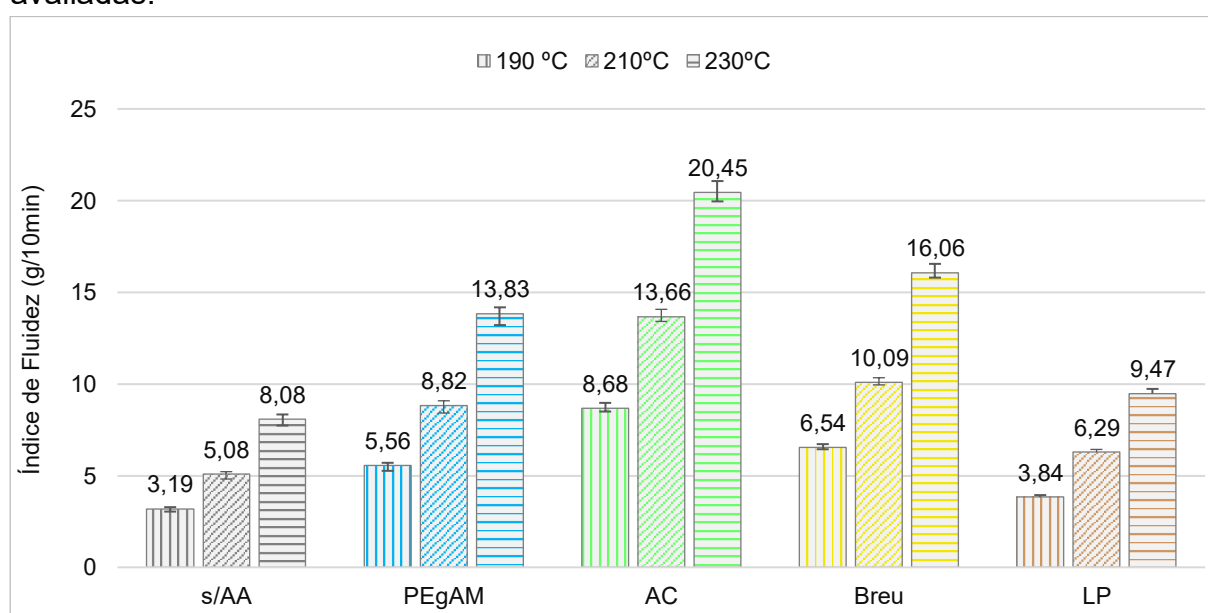
### Índice de Fluidez (MFI)

O MFI é um método reológico amplamente utilizado para avaliar a uniformidade da taxa de fluxo de um polímero durante o processamento. Este método oferece informações sobre o fluxo viscoso do polímero fundido a uma taxa de cisalhamento

constante e, indiretamente, sobre a viscosidade do polímero sob condições específicas de temperatura e pressão <sup>(23)</sup>.

Neste estudo, o MFI foi realizado em três temperaturas distintas (190, 210 e 230°C) para simular diferentes condições de processamento e analisar a variação do MFI em materiais compósitos, conforme a incorporação de diferentes aditivos. Os resultados do MFI para as amostras de PEADpc/30FC sem aditivos (s/AA) e com diferentes aditivos (PEgAM, AC, Breu e LP) são apresentados na Figura 1.

**Figura 1** – Valores de MFI em três temperaturas (190, 210 e 230 °C) para as amostras avaliadas.



Na Figura 1, observa-se uma tendência geral de aumento do MFI com a temperatura para todas as formulações testadas. Este comportamento é esperado, pois o aumento da temperatura reduz a viscosidade do polímero, facilitando seu fluxo. Segundo Pereira e Santana, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura de teste, resultando em um maior índice de fluidez. Esse fenômeno ocorre devido ao movimento molecular acelerado dos polímeros em temperaturas mais altas. Com o aumento da temperatura, há maior disponibilidade de volume livre, o que reduz os emaranhamentos e enfraquece as interações intermoleculares, facilitando assim o fluxo do polímero <sup>(24)</sup>.

Ao comparar as formulações, nota-se que a amostra s/AA apresentou o menor MFI em todas as temperaturas, indicando a viscosidade mais alta entre as amostras analisadas. Isso pode ser atribuído à presença da carga vegetal, que dificulta o

escoamento do polímero fundido e, portanto, aumenta a viscosidade. Conforme destacado por Pereira, compósitos reforçados com fibras vegetais tendem a ter um baixo índice de fluidez, o que pode ser uma desvantagem técnica em relação aos compósitos convencionais <sup>(25)</sup>. Efeito semelhante é observado para a amostra LP, que contém Lignina de Pinus, apresentando um acréscimo relativamente pequeno no MFI com o aumento da temperatura. Este comportamento pode ser atribuído à estrutura química grande e complexa da lignina, que afeta a viscosidade do polímero. Esse efeito é amplificado pelo alto teor de carga celulósica presente, que, juntamente com a lignina, contribui para a redução da fluidez e, conseqüentemente, para índices de fluidez mais baixos <sup>(25, 26)</sup>.

Em contraste, as formulações compatibilizadas com PEgAM, AC e Breu mostraram um aumento significativo no índice de fluidez, com destaque para AC. A incorporação de PEgAM resultou em um incremento do MFI em todas as temperaturas avaliadas, sugerindo que o PEgAM é eficaz na redução da viscosidade e melhoria na fluidez do material. A amostra Breu apresentou um MFI intermediário, superior ao observado na amostra PEgAM, mas inferior ao da amostra AC. Este comportamento pode ser atribuído à natureza do Breu, uma resina natural derivada de coníferas, que é composta por uma mistura de diferentes ácidos resínicos, especialmente ácido abiético e pimárico. A presença desses ácidos resínicos pode influenciar a viscosidade do material, afetando o comportamento reológico da formulação <sup>(27)</sup>.

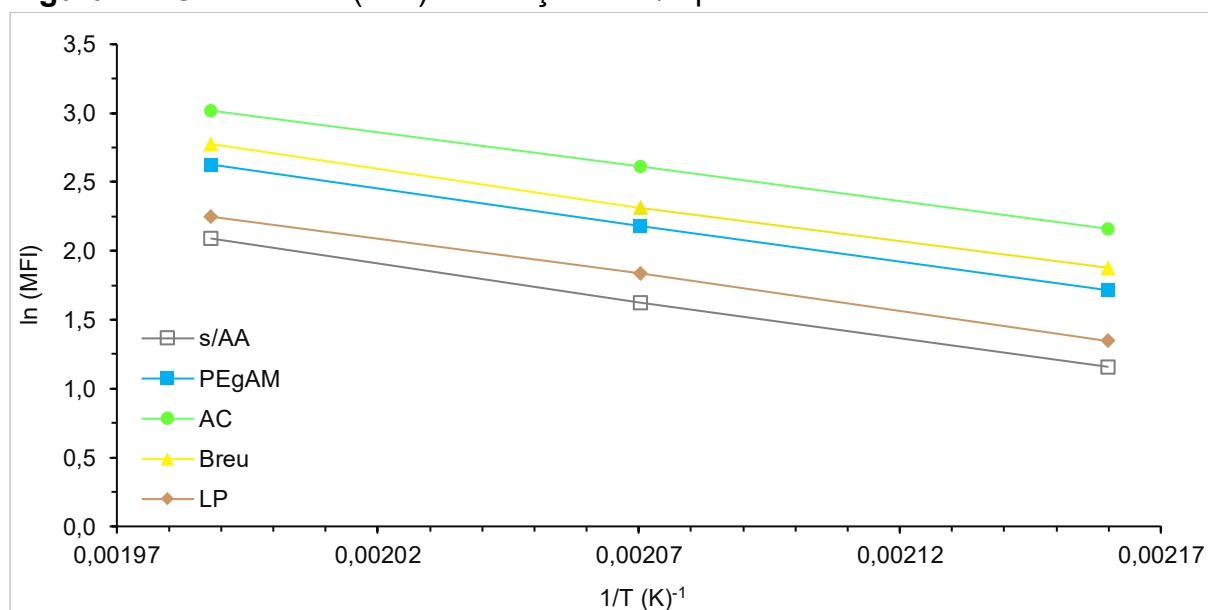
Por sua vez, a amostra AC apresentou a maior eficácia na melhoria da fluidez do material. Isso pode ser atribuído ao ácido cítrico, que reduz as interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas, como ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals, que aumentam a viscosidade do material. Ao enfraquecer essas interações, o ácido cítrico diminui a resistência ao fluxo, aumentando a fluidez do material. Além disso, o ácido cítrico pode atuar como um agente de modificação, alterando a estrutura física do polímero. Essa modificação pode incluir a mudança na conformação das cadeias poliméricas ou a quebra de ligações cruzadas, resultando em uma estrutura mais fluida <sup>(20)</sup>.

### Energia de Ativação ( $E_a$ )

A Energia de Ativação ( $E_a$ ) é um indicativo da quantidade de energia necessária para que o fluxo do material ocorra durante o processamento. Compreender essa energia

é importante para prever o comportamento reológico dos materiais sob diferentes condições de processamento. Estudos indicam que a formação de reticulações aumenta a  $Ea$ , enquanto a cisão de cadeias favorece o fluxo viscoso, resultando na redução da  $Ea$  <sup>(24)</sup>. A Figura 2 apresenta o gráfico de  $\ln(MFI)$  em função de  $1/T$  para as amostras de PEADpc/30FC sem aditivos (s/AA) e com diferentes aditivos (PEgAM, AC, Breu e LP). A  $Ea$  foi determinada a partir da inclinação das retas.

**Figura 2** – Gráfico de  $\ln(MFI)$  em função de  $1/T$  para as amostras avaliadas.



A amostra s/AA apresentou a maior  $Ea$  entre os materiais compósitos analisados, com um valor de 45,06 kJ/mol. Esse resultado, combinado com os baixos índices de fluidez em todas as temperaturas, sugere que o material possui uma viscosidade elevada, demandando maior energia para iniciar o fluxo. Esse comportamento é provavelmente devido à presença de carga vegetal, que intensifica a estrutura reticulada do material, aumentando a viscosidade e a resistência ao fluxo viscoso <sup>(25)</sup>.

Por outro lado, a amostra PEgAM, com uma  $Ea$  de 44,11 kJ/mol, exibiu índices de fluidez significativamente mais elevados. Embora a adição de PEgAM favoreça o fluxo do material e potencialmente melhore o processamento, a energia necessária para iniciar o fluxo durante o processamento ainda permanece elevada. Um efeito semelhante foi observado por Poletto *et al.*, em seu estudo sobre a compatibilização de compósitos de polipropileno reciclado reforçado com farinha de madeira <sup>(15)</sup>. Os autores relataram que os compósitos compatibilizados com PPgAM exibiram os maiores valores de  $Ea$ , o que pode ser atribuído à natureza das interações e à

estrutura química do polímero graftizado com anidrido maleico. Essas interações, embora possam melhorar a compatibilização entre os componentes e, consequentemente, as propriedades mecânicas e térmicas do compósito final, também podem exigir mais energia para o processamento do material.

A amostra LP apresenta uma  $Ea$  intermediária de 43,69 kJ/mol, valor relativamente elevado que, juntamente com os baixos índices de fluidez, pode ser atribuído à incorporação da lignina no material compósito. A lignina, devido à sua natureza altamente reticulada e complexa, forma uma rede tridimensional que aumenta a viscosidade do material e, consequentemente, a energia necessária para o fluxo <sup>(26)</sup>. Em comparação, a amostra Breu também apresentou uma  $Ea$  intermediária, com um valor de 43,45 kJ/mol, indicando um efeito moderado na viscosidade. A resina colofônia, composta principalmente por ácido abiético e outros ácidos diterpênicos, influencia as propriedades reológicas através da formação de ligações intermoleculares, embora essas interações sejam menos intensas do que aquelas formadas pela lignina <sup>(27)</sup>.

Por fim, a amostra AC, com uma  $Ea$  de 40,71 kJ/mol, apresentou a menor resistência ao fluxo. Esse resultado está alinhado com o efeito plastificante do ácido cítrico, que reduz as interações intermoleculares entre as cadeias poliméricas, diminuindo a viscosidade do material. A adição de ácido cítrico interfere nas interações de hidrogênio e outras forças de coesão entre as cadeias poliméricas, facilitando o fluxo e tornando o material menos resistente a deformações durante o processamento <sup>(20)</sup>.

## CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios de índice de Fluidez (MFI) e Energia de Ativação ( $Ea$ ) destacam a importância da seleção adequada de aditivos para otimizar as propriedades reológicas dos compósitos poliméricos.

A fórmula sem aditivo (s/AA) apresentou a menor fluidez e a maior  $Ea$ , evidenciando que a presença de carga vegetal aumenta a viscosidade e a resistência ao fluxo. Em contraste, a amostra com ácido cítrico (AC) demonstrou a melhor performance em termos de fluidez, com a menor  $Ea$ , refletindo uma redução significativa na viscosidade do material compósito.

Por outro lado, a amostra com resina colofônia (Breu) apresentou um efeito intermediário na viscosidade, moderadamente superior ao PEgAM. Ambos os aditivos

proporcionam uma melhoria moderada na fluidez, sem comprometer drasticamente a viscosidade, tornando-os adequados para processos que necessitam de ajustes sutis na fluidez.

Em suma, a variação do efeito dos aditivos em diferentes temperaturas confirma a necessidade de selecionar o aditivo adequado com base nas condições específicas de processamento. Ajustes na escolha e concentração dos aditivos são importantes para melhorar a processabilidade, reduzir desperdícios e minimizar custos de produção.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Materiais Poliméricos (LaPol) da UFRGS, à CAPES e à CAPES PROEX por todo apoio na elaboração desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- (1) KUMAR, R. et al. Industrial applications of natural fibre-reinforced polymer composites – challenges and opportunities. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 12, n. 3, p. 212–220, 2018. [doi.org/10.1080/19397038.2018.1538267](https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1538267)
- (2) MARTINEZ LOPEZ, Y. et al. Production of wood-plastic composites using cedrela odorata sawdust waste and recycled thermoplastics mixture from post-consumer products - A sustainable approach for cleaner production in Cuba. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, 2020. [doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118723](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118723)
- (3) MACIEL, N. DE O. R. et al. Comparative tensile strength analysis between epoxy composites reinforced with curaua fiber and glass fiber. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 7, n. 4, p. 561–565, 2018. [doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.03.009](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.03.009)
- (4) ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 114–122, 2013. [doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021](https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021)
- (5) BODUR, M. S.; BAKKAL, M.; SONMEZ, H. E. The effects of different chemical treatment methods on the mechanical and thermal properties of textile fiber reinforced polymer composites. **Journal of Composite Materials**, v. 50, n. 27, p. 3817–3830, 2016. [doi.org/10.1177/0021998315626256](https://doi.org/10.1177/0021998315626256)
- (6) TRAN, L. Q. N. et al. Fiber-matrix interfacial adhesion in natural fiber composites. **International Journal of Modern Physics B**, v. 29, n. 10n11, 2015. [doi.org/10.1142/S0217979215400184](https://doi.org/10.1142/S0217979215400184)
- (7) CSIKÓS, Á. et al. Modification of interfacial adhesion with a functionalized polymer in PLA/wood composites. **European Polymer Journal**, v. 68, p. 592–600, 2015. [doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.03.032](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2015.03.032)
- (8) WANG, K. et al. Dynamic behavior and flame retardancy of HDPE/hemp short fiber composites: Effect of coupling agent and fiber loading. **Composite Structures**, v. 113, p. 74–82, 2014. [doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.03.009](https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2014.03.009)

- (9) ESSABIR, H. et al. Biocomposites based on Argan nut shell and a polymer matrix: Effect of filler content and coupling agent. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 70–83, 2016. [doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.002](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.002)
- (10) CATTO, A. L. et al. Influence of coupling agent in compatibility of post-consumer HDPE in thermoplastic composites reinforced with eucalyptus fiber. **Materials Research**, v. 17, n. 1, p. 203–209, 2014. [doi.org/10.1590/S1516-14392014005000036](https://doi.org/10.1590/S1516-14392014005000036)
- (11) ARAÚJO, J. R.; WALDMAN, W. R.; DE PAOLI, M. A. Thermal properties of high-density polyethylene composites with natural fibres: Coupling agent effect. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, n. 10, p. 1770–1775, 2008. [doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.07.021](https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2008.07.021)
- (12) TEIXEIRA, F. P.; DE ANDRADE SILVA, F. On the use of natural curauá reinforced cement-based composites for structural applications. **Cement and Concrete Composites**, v. 114, 2020. [doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103775](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103775)
- (13) KALIA, S. et al. Surface modification of plant fibers using environment friendly methods for their application in polymer composites, textile industry and antimicrobial activities: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 3, p. 97–112, 2013. [doi.org/10.1016/j.jece.2013.04.009](https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.04.009)
- (14) MOURA, A. et al. Effect of rice husk treatment with hot water on mechanical performance in poly(hydroxybutyrate)/rice husk biocomposite. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 6, p. 2632–2639, 2018. [doi.org/10.1007/s10924-017-1156-5](https://doi.org/10.1007/s10924-017-1156-5)
- (15) POLETO, M.; ZATTERA, A. J.; SANTANA, R. M. C. Effect of natural oils on the thermal stability and degradation kinetics of recycled polypropylene wood flour composites. **Polymer Composites**, v. 35, n. 10, p. 1935–1942, 2014. [doi.org/10.1002/pc.22852](https://doi.org/10.1002/pc.22852)
- (16) MARTINS, A. B.; SANTANA, R. M. C. Effect of carboxylic acids as compatibilizer agent on mechanical properties of thermoplastic starch and polypropylene blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 135, p. 79–85, 2016. [doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.074](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.074)
- (17) TOMACHESKI, D. et al. Organic additives as antimicrobial agents in thermoplastics compounds. **MRS Online Proceedings Library**, v. 1817, n. 54, 2016. [doi.org/10.1557/opl.2016.54](https://doi.org/10.1557/opl.2016.54)
- (18) CASTRO, D. O. et al. Use of castor and canola oils in “biopolyethylene” curauá fiber composites. **Composites. Part A, Applied science and manufacturing**, v. 95, p. 22–30, 2017. [doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.12.024](https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.12.024)
- (19) MARTINS, A. B.; CATTELAN, A. K.; SANTANA, R. M. C. How the compatibility between polyethylene and thermoplastic starch can be improved by adding organic acids?. **Polymer Bulletin (Germany)**, v. 75, n. 5, p. 2197–2212, 2018. [doi.org/10.1007/s00289-017-2147-3](https://doi.org/10.1007/s00289-017-2147-3)
- (20) FAJARDO CABRERA DE LIMA, L. DEL P.; SANTANA, R. M. C.; CHAMORRO RODRÍGUEZ, C. D. Influence of coupling agent in mechanical, physical and thermal properties of polypropylene/bamboo fiber composites: under natural outdoor aging. **Polymers**, v. 12, n. 4, p. 929, 2020. [doi.org/10.3390/polym12040929](https://doi.org/10.3390/polym12040929)
- (21) POLETO, M. Natural oils as coupling agents in recycled polypropylene wood flour composites: Mechanical, thermal and morphological properties. **Polymers and Polymer Composites**, v. 28, n. 7, p. 443–450, 2020. [doi.org/10.1177/0967391119886941](https://doi.org/10.1177/0967391119886941)
- (22) RUEDA, M. M. et al. Rheology and applications of highly filled polymers: A review of current understanding. **Progress in Polymer Science**, v. 66, p. 22–53, 2017. [doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.12.007](https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.12.007)
- (23) SILVA, A. J. de J. Análise comparativa da curva de viscosidade e do índice de fluidez de dois grades de polipropileno utilizando reometria capilar. **Revista Sítio Novo**, v. 4, n. 3, p. 97–108, 2020. [doi.org/10.47236/2594-7036](https://doi.org/10.47236/2594-7036)
- (24) PEREIRA, E.; SANTANA, R. M. C. Análise do desempenho do PEAD reciclado proveniente de borras de purga. **Plástico Industrial**, v. 222, 2017. Disponível em: [arandanet.com.br/revista/pi/materia/2017](http://arandanet.com.br/revista/pi/materia/2017). Acesso em: 17 ago. 2024.
- (25) PEREIRA, G. B. et al. Caracterização de compósitos de Poliestireno de Alto Impacto (HIPS), reforçados com fibras de coco verde para eventual aplicação na indústria automobilística. **Cadernos UniFOA**, v. 12, n. 34, p. 15–22, 2017. [doi.org/10.47385/cadunifoa](https://doi.org/10.47385/cadunifoa)

- (26) KUN, D.; PUKÁNSZKY, B. Polymer/lignin blends: Interactions, properties, applications. **European Polymer Journal**, v. 93, p. 618–641, 2017. [doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.04.035](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2017.04.035)
- (27) MAHENDRA, V. Rosin Product Review. **Applied Mechanics and Materials**, v. 890, p. 77–91, 2019. [doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.890.77](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.890.77)

## EFFECT OF USE OF DIFFERENT ADDITIVES ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THERMOPLASTIC COMPOSITES REINFORCED WITH VEGETABLE FIBERS

### ABSTRACT

This study aims to evaluate the effect of different natural source additives on composites with a High-Density Polyethylene post-consumer (HDPEpc) matrix, reinforced with 30% Curaua Fiber (CF). The additives analyzed were Maleic Anhydride Grafted Polyethylene (PEgAM), Citric Acid (AC), rosin (Breu), and Pine Lignin (LP), all incorporated into the HDPEpc/30CF formulation at a mass ratio of 3%. The rheological characterization of the composites was conducted through Melt Flow Index (MFI) testing at three distinct temperatures: 190, 210, and 230 °C. The results indicated that the incorporation of CA and Breu significantly increased the MFI of the composites compared to the composites without additives (s/AA). These findings suggest that natural source additives can enhance processing efficiency, facilitating mold filling during injection and improving the quality of the manufactured products.

**Keywords:** *rheological properties, melt flow index, activation energy, curaua fiber, thermoplastic composite.*