



EFEITO DO AGENTE DE COMPATIBILIZAÇÃO INTERFACIAL PE-g-MAH NAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS HÍBRIDOS PEAD/mALGA/OMMT

Lamas, B.L.C.¹; Silva, A.C.¹; Milfont, C. H. R.¹; Gomes, F.P.C²; Viana, G. A. C. M.³; Leite, A. M. D.⁴; e Ito, E.N.⁵

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil

² Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil

³ Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil

⁴ Escola de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil

⁵ Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil

alice.silva.111@ufrn.edu.br*

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito das interações interfaciais nas propriedades físicas, químicas, reológicas, mecânicas e morfológicas dos compósitos híbridos poliméricos, constituído pelo polietileno de alta densidade (PEAD), microALGA (mALGA) e argila montmorilonita organofílica (OMMT). O polietileno funcionalizado com anidrido maleico (PE-g-MAH) foi utilizado como agente de compatibilização interfacial dos compósitos híbridos PEAD/mALGA/MMT. Os compósitos híbridos poliméricos foram obtidos por mistura no estado fundido em extrusora dupla rosca co-rotacional e corpos de prova foram obtidos por moldagem por injeção. Os resultados de medidas de índice de fluidez (MFI) mostraram que as mALGA proporcionaram um aumento efetivo da fluidez dos compósitos híbridos extrudados, enquanto a presença da OMMT e do PE-g-MAH exerceu um efeito contrário. Os compósitos com mALGA apresentaram melhores propriedades mecânicas, enquanto a adição de OMMT reduziram a tensão máxima do PEAD.

Palavra chave: PEAD; microALGA; argila montmorilonita; compósitos híbridos.

1. INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica e a crescente complexidade dos requisitos industriais e ambientais têm demandado o desenvolvimento de novos materiais com propriedades otimizadas para aplicações específicas. Dessa forma, os compósitos poliméricos surgem como uma solução promissora para atender a essas exigências, uma vez que, permitem a combinação de diferentes fases para alcançar propriedades superiores aos materiais puros. Os compósitos poliméricos são particularmente valorizados por sua capacidade de melhorar o desempenho mecânico, a durabilidade e a eficiência dos produtos, além de oferecerem vantagens adicionais, como a redução de custos e impacto ambiental (1).

A necessidade de materiais que atendam a padrões elevados de desempenho e sustentabilidade tem levado ao avanço na formulação e aplicação de compósitos, integrando componentes orgânicos e inorgânicos, como os silicatos nanolamelares, para criar soluções inovadoras e mais eficazes (2,3). A abordagem híbrida dos compósitos poliméricos permite não apenas a personalização das propriedades dos materiais, mas também a exploração de alternativas mais sustentáveis, como a incorporação de resíduos orgânicos e a redução da pegada ambiental (4,5).

Nesse contexto, as microalgas emergem como uma alternativa promissora para aprimorar as propriedades dos compósitos de matrizes poliméricas. A incorporação de microalgas pode levar a melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos e oferece vantagens adicionais, como a redução do custo do produto final e a utilização de resíduos orgânicos (6). Portanto, o objetivo deste estudo é investigar a influência da incorporação de microalgas, da argila organofílica montmorilonita e do polietileno enxertado com anidrido maleico nas interações químicas, bem como nos comportamentos reológico e mecânico do PEAD.

2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Polietileno de alta densidade (PEAD) da empresa Braskem (MFI=2,0 g/10min), a Microalga (mALGA) verde bruta, sem pré-tratamento, obtida do cultivo *outdoor* e disponibilizada pelo Centro Tecnológico de Aquicultura (CTA)-RN, a argila organofílica montmorilonita quimicamente modificada com um sal de amônio quaternário (Cloisite® 30B), da Southern Clays, e o polietileno enxertado com anidrido maleico, Polybond® 3009, (MFI= 5,0 g/10min) da empresa Chemtura.

As formulações dos compósitos híbridos contem 2% em massa de mALGA e de OMMT, com e sem o PE-*g*-MAH, são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações dos compósitos poliméricos usadas para o desenvolvimento do trabalho.

FORMULAÇÃO	COMPOSIÇÃO (pcr)
PEAD	100
PEAD/PE- <i>g</i> -MAH	100/3
PEAD/mALGA	100/2
PEAD/mALGA/PE- <i>g</i> -MAH	100/2/3
PEAD/OMMT	100/2
PEAD/OMMT/PE- <i>g</i> -MAH	100/2/3
PEAD/mALGA/OMMT	100/2/2
PEAD/mALGA/OMMT/PE- <i>g</i> -MAH	100/2/2/3

2.2 Métodos

Mistura por extrusão e moldagem por injeção

As formulações foram homogeneizadas e plastificadas em uma extrusora dupla rosca co-rotacional modelo AX – DR16:40 da empresa AX Plásticos Máquinas Técnicas Ltda, com D= 16cm e L/D=40, usando o perfil de temperatura de 90/150/190/195/200/195/200/200 °C, e velocidade de rotação de rosca da extrusora de 260rpm.

Os materiais foram granulados e secos para posterior moldagem por injeção de corpos de prova de tração ASTM D638 tipo I. A moldagem por injeção foi realizada usando um equipamento Arburg Allrounder 270S com um perfil de temperatura de 220/210/230/230/220 °C, da alimentação ao bico de injeção. A temperatura do molde com 30°C e tempo de resfriamento de 40s.

Medidas de índice de fluidez (MFI)

As medidas de índice de fluidez dos granulados obtidos após a mistura em extrusora foram obtidas utilizando o plastômetro da Ceast Melt Flow, modelo modular line, nas condições de 190°C/2,16kg de acordo com a norma ASTM D1238.

Caracterização mecânica

O ensaio de tração uniaxial foi realizado nos corpos de prova do tipo I (norma ASTM D638), no equipamento da marca EMIC, modelo DL-3000 *Universal Testing Machine*, utilizando uma velocidade inicial de 1mm/min até 0,5% de deformação e 100mm/min até a ruptura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados das medidas de índice de fluidez para o PEAD puro, os compósitos híbridos poliméricos com e sem o PE-g-MAH. Estes resultados evidenciam a influência da interação interfacial entre os componentes da mistura sobre a fluidez.

A incorporação de 2% em massa da microalga ao PEAD proporcionou um aumento significativo na fluidez do material, mostrando indícios da fraca interação intermolecular entre a matriz de polietileno e a carga biogênica, o que por sua vez, pode ocorrer devido ao alto teor de substâncias inorgânicas presentes nas mALGA. Resultados semelhantes foram relatados por Bulota e Budtova (5).

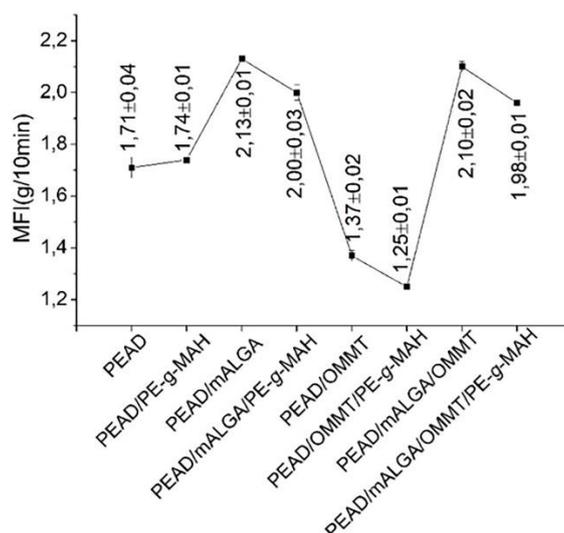
Ao adicionar 3% em massa do agente de compatibilização, verificou-se a redução na fluidez dos compósitos poliméricos e conseqüentemente um

comportamento mais viscoso do compósito polimérico, mostrando indícios da interações entre a mALGA e o PE-*g*-MAH.

O comportamento reológico do compósito polimérico contendo 2% em massa de OMMT demonstrou uma redução na fluidez e, conseqüentemente, um aumento na viscosidade. A adição de 3% em massa de PE-*g*-MAH ao sistema PEAD/OMMT resultou em uma redução ainda mais acentuada na fluidez quando comparado ao polietileno puro. Mostrando indícios de interação entre os grupos polares do agente de compatibilização e os grupos hidroxilas (-OH) presentes na argila, comportamentos semelhantes foram encontrados na literatura por Passador, et al. (7).

A incorporação de 2% em massa de argila no compósito PEAD/mALGA nao causou mudancas significativas na fluidez dos compositos polimericos, enquanto que a presença do PE-*g*-MAH nos compósitos híbridos PEAD/mALGA/MMT reduziu a fluidez e, conseqüentemente, aumentou a viscosidade, sugerindo um aumento da interacao entre o agente de compatibilizacao interfacial e as fases presentes.

Figura 1 - Medidas de Índice de Fluidez do PEAD e dos compósitos poliméricos híbridos

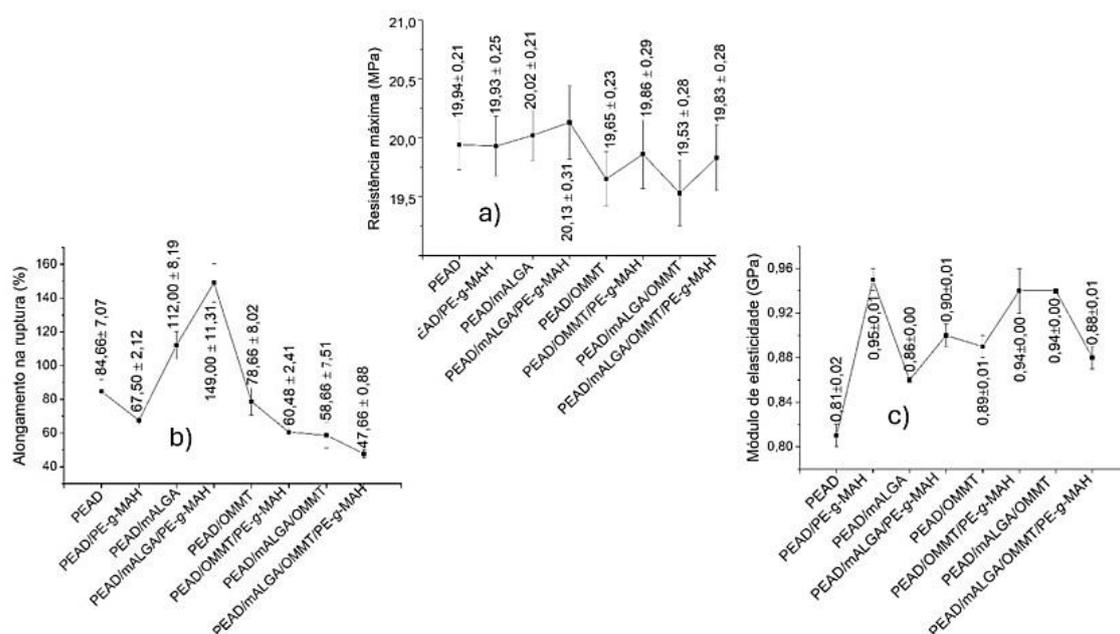


A Figura 2 apresenta as propriedades mecânicas do PEAD e dos seus compósitos com e sem adição 3% em massa de PE-*g*-MAH sob tração uniaxial. A incorporação de 2% em massa de mALGA proporcionou uma melhora nas propriedades mecânicas do PEAD, ficando ainda mais evidenciada com o uso do agente de compatibilização.

A incorporação da OMMT proporcionou uma ligeira melhora no módulo de elasticidade (Figura 2(c)), enquanto a sua resistência à tração (Figura 2(a)) e seu alongamento na ruptura (Figura 2 (b)) foi reduzida devido restrição da mobilidade das cadeias poliméricas se comparada ao PEAD e ao compósito PEAD/mALGA.

A interação entre os grupos ativos do anidrido maleico, a estrutura estratificadas da OMMT, e a mALGA, favorecem a movimentação das cadeias poliméricas, proporcionando a melhoria das propriedades mecânicas dos compósitos poliméricos híbridos, comprovando a eficiência do agente de compatibilização.

Figure 2. Propriedades mecânicas de PEAD e os compósitos poliméricos híbridos, com e sem o PE-g-MAH para (a) resistência à tração (b) alongamento na ruptura e (c) módulo de elasticidade



4 CONCLUSÃO

A partir dos resultados apresentados, que a incorporação de microalga influenciou diretamente no aumento da fluidez PEAD e na melhora das propriedades mecânicas, devido as substâncias inorgânicas presentes na carga. A incorporação da OMMT restringiu a mobilidade das cadeias, proporcionando a redução da fluidez e uma ligeira queda das propriedades mecânicas. No entanto, a incorporação do PE-g-MAH favoreceu a melhoria da interação.

5 REFERÊNCIAS

- (1) GIBSON, R. F. *Principles of Composite Material Mechanics*. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- (2) LEE, J. H.; KIM, Y. J.; LEE, S. J. Recent advances in polymer materials for high-performance applications. *Materials Science and Engineering Reviews*, v. 124, p. 34-59, mar. 2018.
- (3) ZHANG, L.; ZHANG, X.; WANG, Y. Recent advances in polymer composites for environmental sustainability. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 137, n. 13, p. 48627, 2020. DOI:<10.1002/app.48627>.
- (4) WANG, K.; ZHANG, Z.; CAI, R.; SUN, G.; CHENG, P.; PENG, Y. Title of the article. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 140, 2023. DOI: <10.1002/app.53658>.
- (5) CHUNG, M. J.; JANG, L. W.; SHIM, J. H.; YOON, J. S. Title of the article. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 95, p. 307-311, 2005. DOI: <10.1002/app.21224>.
- (6) BULOTA, M.; BUDTOVA, T. PLA/algae composites: Morphology and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 73, p. 109-115, jul. 2015.
- (7) PASSADOR, F. R.; RUVOLO-FILHO, A.; PESSAN, L. A. Nanocomposites of polymer matrices and lamellar clays. In: KOH, L.; BROWN, A. (Org.). *Nanostructures*. [s.l.]: Elsevier Inc., 2017. p. 187-207. DOI: <10.5772/intechopen.81329>.

EFFECT OF THE INTERFACIAL COMPATIBILIZER AGENT PE-*g*-MAH ON THE PROPERTIES OF HDPE/mALGA/OMMT HYBRID COMPOSITES

Lamas, B.L.C.¹; Silva, A.C.¹; Milfont, C.H.R.¹; Gomes, F.P.C.²; Viana, G.A.C.M.³;
Leite, A.M.D.⁴; and Ito, E.N.⁵

¹ *Graduate Program in Materials Science and Engineering, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil*

² *Department of Chemical Engineering, Federal University of Pernambuco, Recife, PE, Brazil*

³ *Department of Oceanography and Limnology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil*

⁴ *School of Science and Technology, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil*

⁵ *Department of Materials Engineering, Federal University of Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brazil*

alice.silva.111@ufrn.edu.br*

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the impact of interfacial interactions on the physical, chemical, rheological, mechanical, and morphological properties of polymeric hybrid composites composed of high-density polyethylene (HDPE), microALGA (mALGA), and organophilic montmorillonite clay (OMMT). Maleic anhydride-functionalized polyethylene (PE-*g*-MAH) was used as the interfacial compatibilizer for the HDPE/mALGA/MMT hybrid composites. The polymeric hybrid composites were prepared by melt blending using a co-rotating twin-screw extruder, and test specimens were obtained through injection molding. Melt flow index (MFI) measurements revealed that mALGA significantly increased the flowability of the extruded hybrid composites, whereas the presence of OMMT and PE-*g*-MAH had the opposite effect. Composites containing mALGA demonstrated enhanced mechanical properties, while the addition of OMMT reduced the maximum stress of the HDPE.

Keywords: HDPE; microALGA; montmorillonite clay; hybrid composites.