

NANOCOMPÓSITO DE POLÍMERO VERDE: COMPORTAMENTO MECÂNICO E DE INFLAMABILIDADE

F. F. S. Siqueira^{(1)*}; R. L. Cosse⁽²⁾; J. B. Azevedo⁽³⁾; R. Barbosa⁽⁴⁾; T. S. Alves⁽⁴⁾

(1) Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais/UFPI

(2) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais/IFPI

(3) Faculdade SENAI-CIMATEC/BA

(4) Curso Engenharia de Materiais e Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais/UFPI

*f.fabricio@hotmail.com

RESUMO

Nanocompósitos de polietileno verde, compatibilizante polar e argila vermiculita organofílica foram desenvolvidos por meio da técnica de intercalação por fusão em uma extrusora monorosca e moldados em uma termoprensa hidráulica. Para este trabalho, foram analisados o comportamento mecânico e a resistência à propagação de chama do PEVAD e seus nanocompósitos. Os resultados encontrados mostraram que os nanocompósitos com PEgMA apresentaram um aumento no módulo de elasticidade em relação ao PE verde puro, porém os resultados não foram satisfatórios quando se analisou a tensão de escoamento e o limite de resistência à tração. Isso foi causado, principalmente, pela má dispersão da argila na matriz polimérica e pela insuficiente adesão entre os dois materiais. O teste de inflamabilidade evidenciou o efeito catalítico da argila, uma vez que para todos os nanocompósitos avaliados, a resistência à propagação de chama foi inferior em relação ao PE verde puro.

Palavras-chave: polímero verde, argila vermiculita organofólica, nanocompósitos, desempenho mecânico e inflamabilidade.

INTRODUÇÃO

Nanocompósitos com matriz polimérica reforçados por meio de argila em baixa concentração têm despertado atenção nos últimos anos e como consequência estão sendo estudados e desenvolvidos, principalmente, por promoverem propriedades superiores quando comparados com polímeros puros e/ou compósitos

convencionais com outros tipos de cargas⁽¹⁾. Essas propriedades incluem elevada estabilidade dimensional, melhores propriedades físicas, boas propriedades de barreira, melhoria na retardância a chamas, aumento do desempenho mecânico e possível redução do custo final do produto⁽¹⁻³⁾.

Dentre as matrizes poliméricas existentes, o polietileno (PE) é o plástico com a estrutura polimérica mais simples do mercado, formado pela polimerização de átomos de carbono e hidrogênio em grandes cadeias⁽⁴⁾. Além disso, é o termoplástico mais largamente utilizado nas indústrias transformadoras^(1,5,6), possuindo boa combinação de propriedades úteis, tais como leveza, baixo custo, alta resistência química, atóxico e boa processabilidade^(5,6). Entretanto, devido à sua natureza química simples, apresenta baixa rigidez e é altamente inflamável⁽⁶⁾.

Diante dos problemas que os produtos derivados de fonte fóssil causam ao meio ambiente e dos altos custos de produção, tem existido recentemente uma tendência em pesquisa, desenvolvimento e aplicação dos chamados biopolímeros que são plásticos oriundos de fonte renovável, podendo ser ou não biodegradáveis⁽⁷⁾. Um exemplo desse material é o polietileno verde (PE verde), desenvolvido e produzido pela petroquímica Braskem, à base de etileno gerado pelo etanol proveniente do processamento da cana de açúcar, uma fonte natural e renovável⁽⁸⁾. Além disso, ele apresenta as mesmas propriedades e condições de processamento do polietileno convencional, bem como é 100% reciclável⁽⁹⁻¹¹⁾. A utilização desse tipo de material contribui para reduzir a poluição ambiental na medida em que se diminui substancialmente a emissão de gases que provocam o efeito estufa^(7,10). Como comparativo, para produzir 1 tonelada de PE de origem fóssil são emitidos 2,1 toneladas de CO₂ para o meio ambiente, enquanto que para produzir 1 tonelada do PE verde são capturados da atmosfera 2,51 toneladas de CO₂⁽¹⁰⁾. Isso acontece porque as plantas absorvem o dióxido de carbono durante seu cultivo e crescimento, como parte natural do processo de fotossíntese⁽⁷⁾.

Dentre as argilas que podem ser utilizadas como reforço em nanocompósitos poliméricos, pode-se evidenciar a argila vermiculita, $(Mg, Fe)_3 [(Si, Al)_4 O_{10}] [OH]_2 4H_2O$ ⁽¹²⁾, que vem sendo estudada para este fim, pois fomenta melhores propriedades ao nanocompósito formado, com as vantagens de contribuir para a sustentabilidade ambiental por ser natural, regional, de fácil acesso e baixo custo.

Trata-se de um material pertencente à subclasse dos filossilicatos, de estrutura cristalina lamelar 2:1, com potencial de aplicação em diversos segmentos^(2,3,12).

O grande desafio no uso de argilas como reforço em nanocompósitos é sua baixa compatibilidade, ou seja, pouca adesão em matrizes poliméricas dada sua estrutura ser hidrofílica, levando à necessidade de organofilização para ser compatível com a matriz polimérica que é hidrofóbica⁽¹³⁻¹⁵⁾. O processo de organofilização da argila consiste no preparo de dispersões contendo concentrações de água destilada, argila e um sal quaternário de amônio ou fosfônio. Nesse processo, acontecerá uma reação de troca-iônica dos cátions trocáveis, presentes na superfície e no espaço interlamelar dos argilominerais, por cátions surfactantes presentes no sal quaternário de amônio^(2,13,16,17).

Além disso, alguns polímeros, como o polietileno, possuem forte natureza apolar, fazendo com que eles apresentem poucas interações com a superfície polar das cargas minerais tal quais as argilas, mesmo quando estas são organicamente modificadas. Dessa forma, faz-se necessária modificação da estrutura do polietileno por meio da adição de um compatibilizante polar, como tentativa de torná-lo mais compatível com a superfície da argila, bem como melhorar a dispersão do reforço dentro da matriz polimérica^(1,18).

Diante dessa problemática, este trabalho busca analisar as propriedades mecânicas e o desempenho quanto à retardância de chamas de nanocompósitos de polietileno verde (PE verde)/compatibilizante polar/argila vermiculita organofílica.

EXPERIMENTAL

Materiais

Na busca por perfil mais sustentável, essa pesquisa foi desenvolvida utilizando o polietileno verde de alta densidade (PEVAD), de *grade* SHA7260 da Braskem, como matriz polimérica.

Como forma de estimular e intensificar o uso materiais regionais, foi utilizada a argila vermiculita fornecida pela Mineração Pedra Lavrada da Paraíba/Brasil como reforço em escala nanométrica e em teores menores que 10% para a produção dos nanocompósitos. O composto utilizado para modificar quimicamente a argila vermiculita foi o sal quaternário de amônio com nome comercial Praepagen WB[®]

(cloreto de estearil dimetil amônio), com aspecto de gel e fabricado pela Clariant do Brasil.

O compatibilizante utilizado foi o PEgMA, polietileno de alta densidade funcionalizado com anidrido maleico, conhecido comercialmente por Orevac® 18507 e adquirido da Arkema Innovative Chemistry.

Procedimento experimental

Inicialmente a argila passou por um beneficiamento, onde esta foi moída utilizando-se um moinho mecânico IKA A11 e passada na peneira ABNT nº 200 com abertura de 74 µm para posteriormente ser organofilizada. Em seguida, a argila foi organofilizada e o procedimento utilizado para sua modificação química foi o mesmo adotado por Mesquita *et al.* (2016) ⁽¹⁴⁾.

O processamento dos nanocompósitos foi realizado por meio da técnica de intercalação por fusão que consiste em misturar o polímero, a argila organofílica e o compatibilizante por meio de equipamentos de mistura.

O polietileno verde de alta densidade (PEVAD), a argila vermiculita organofílica (OVMT) e o compatibilizante polar (PEgMA) foram previamente misturados em diferentes proporções dos materiais conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Formulação dos sistemas.

Sistemas	PEVAD (%)	PEgMA (%)	OVMT (%)
PEVAD	100	0	0
PEVAD/3OVMT	97	0	3
PEVAD/6OVMT	94	0	6
PEVAD/8PEgMA/1OVMT	91	8	1
PEVAD/6PEgMA/3OVMT	91	6	3

Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Depois de definidas as proporções, as concentrações foram fundidas e homogeneizadas em uma extrusora monorosca modelo AX-16 da AX Plásticos, com perfil de temperatura das zonas de aquecimento variando de 170 °C, 190 °C e 190 °C, respectivamente, para as zonas 1, 2 e 3 do equipamento, com rotação da rosca mantida em 50 rpm. Em seguida, os nanocompósitos foram resfriados em água,

peletizados e secos em estufa por 4h a 60°C para posterior confecção dos corpos de prova.

Os corpos de prova foram confeccionados segundo as dimensões das normas ASTM D638 e UL-94 HB por meio de compressão utilizando-se uma termoprensa hidráulica modelo MH-08-MN da MH Equipamentos Ltda. Os sistemas foram moldados sob as seguintes condições: prensagem inicial de 1 tonelada a 180°C durante 2 minutos, seguida de uma descompressão por 1 minuto à mesma temperatura e por último, uma prensagem de 3 toneladas a 180°C durante 3 minutos.

Testes e análises

O ensaio mecânico de tração foi realizado utilizando-se a máquina de ensaio universal EMIC DL 30000N de acordo com os parâmetros definidos pela norma ASTM D638-10. O teste foi executado com seis corpos de prova para cada sistema, à temperatura ambiente e velocidade de tração de 50 mm/min, utilizando-se uma célula de carga de 5kN. O comportamento mecânico das amostras foi analisado por meio do módulo de elasticidade e do limite de resistência à tração.

Para analisar a resistência à chama, a taxa de queima e o desprendimento de material durante a queima das amostras, foi realizado o teste de inflamabilidade horizontal em corpos de prova normatizados pela Underwrites Laboratories (Norma UL 94). O teste foi conduzido em cinco corpos de prova, tanto para os nanocompósitos com diferentes concentrações de argila e compatibilizante quanto para o polímero verde puro.

A taxa de queima das amostras pode ser calculada por meio da equação A:

$$V = \frac{60L}{t} \quad (A)$$

onde V é a velocidade de queima em mm/min, L é o comprimento consumido pela chama (75mm) e t é o tempo necessário para que 75mm do corpo de prova seja consumido pela chama. As dimensões dos corpos de prova exigidos pela norma são: 125 ± 5 mm de comprimento, 13 ± 0,5 mm de largura e 3,0 ± 0,2 mm de espessura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio mecânico de tração

As propriedades mecânicas nos nanocompósitos dependem de alguns fatores, entre eles o grau de dispersão do reforço na matriz e a adesão entre os constituintes^(6,11). Os resultados das propriedades mecânicas obtidas do ensaio de tração estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do PEVAD e seus nanocompósitos.

Sistemas	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência à Tração – LRT (MPa)
PEVAD	468,08 ± 38,00	15,12 ± 1,05	26,59 ± 0,62
PEVAD/3OVMT	390,90 ± 20,98	14,80 ± 0,58	22,65 ± 0,85
PEVAD /6OVMT	393,37 ± 32,17	11,82 ± 0,36	18,72 ± 1,37
PEVAD/8PEgMA/1OVMT	503,15 ± 8,19	13,02 ± 0,31	25,57 ± 0,42
PEVAD/6PEgMA/3OVMT	517,05 ± 10,10	13,25 ± 0,52	23,96 ± 1,35

Fonte: Arquivo pessoal (2016).

De maneira geral observa-se que a argila organofílica e o PEgMA tiveram influência significativa nas propriedades mecânicas dos nanocompósitos.

De acordo com a teoria clássica da mecânica, os carregamentos aplicados nos materiais compostos são transferidos da matriz para as cargas ao longo do contato reforço/matriz, fazendo com que compósitos/nanocompósitos que tenham boa adesão entre seus constituintes, apresentem melhores propriedades mecânicas⁽¹⁹⁾. No caso das amostras em estudo, essa adesão foi melhor adquirida nos sistemas PEVAD/8PEgMA/1OVMT e PEVAD/6PEgMA/3OVMT, logo tiveram melhores propriedades mecânicas.

A ausência do PEgMA nos sistemas PEVAD/3OVMT e PEVAD/6OVMT comprometeu a dispersão e a adesão da argila na matriz polimérica, bem como a qualidade dos corpos de prova que apresentaram elevada porosidade interna, fazendo com que estes atuassem como concentradores de tensão, reduzindo as propriedades mecânicas e levando à fratura precoce das amostras⁽¹¹⁾.

O módulo de elasticidade para os sistemas PEVAD/3OVMT e PEVAD/6OVMT, sem compatibilizante, apresentaram valores inferiores ao da matriz polimérica, sendo que a redução na rigidez foi de 16,53% para o PEVAD/3OVMT e 16,04% para o PEVAD/6OVMT. Quando o compatibilizante foi adicionado na formulação dos

sistemas, verificou-se que o módulo elástico teve um aumento de 7,44% para o sistema PEVAD/8PEgMA/1OVMT e de 10,41% para o PEVAD/6PEgMA/3OVMT, com relação à matriz polimérica pura. O PEgMA foi fundamental para a melhoria da rigidez dos nanocompósitos. Como comparativo, sistema PEVAD/6PEgMA/3OVMT apresentou valor de módulo de elasticidade cerca de 32% superior ao sistema PEVAD/3OVMT, que não possui compatibilizante em sua composição. Quando argila e compatibilizante polar são adicionados à matriz de polietileno de alta densidade, o módulo elástico do material formado aumenta quando comparado ao da matriz polimérica pura, sendo atribuído isso à maior rigidez da carga inorgânica⁽¹⁹⁾.

Os resultados apontam que a tensão de escoamento do PE verde puro é maior que o observado para todos os nanocompósitos. Quando se analisa os sistemas sem PEgMA, verifica-se que o sistema PEVAD/6OVMT teve uma queda acentuada na sua tensão de escoamento de aproximadamente 22%, quando comparado ao PEVAD. Para os sistemas com compatibilizante, foi observada uma redução de aproximadamente 13%. Essa redução na tensão de escoamento nos nanocompósitos acontece devido a utilização de argila como reforço na matriz polimérica, o material se torna mais rígido e sua capacidade de se deformar elasticamente fica comprometida. Por isso, os nanocompósitos formados possuem valores de tensão de escoamento intermediários ao do polietileno verde puro, que é dúctil, e à da argila vermiculita, que é rígida⁽¹⁹⁾.

Devido aos problemas de adesão pela falta do compatibilizante, porosidade interna e à existência de aglomerados de argila, já mencionados em outras análises, era de se esperar que os sistemas PEVAD/3OVMT e PEVAD/6OVMT apresentassem a resistência à tração inferior ao PEVAD e aos sistemas PEVAD/8PEgMA/1OVMT e PEVAD/6PEgMA/3OVMT. Para as amostras PEVAD/6OVMT, a redução do LRT em relação à matriz polimérica pura foi de aproximadamente 30%. Já os nanocompósitos que continham PEgMA, também apresentaram LRT inferior ao PE verde puro pelos mesmos problemas discutidos anteriormente, exceto a presença de porosidade. As reduções foram de aproximadamente 4% para o sistema PEVAD/8PEgMA/1OVMT e em torno de 11% para o PEVAD/6PEgMA/3OVMT. A resistência à tração está intimamente relacionada à adesão da argila na matriz polimérica, quanto melhor a eficiência

dessa adesão, maior a eficiência na transferência de tensões entre os dois materiais^(11, 20).

Teste de inflamabilidade - UL-94 HB

Os dados da Tabela 3 apresentam os resultados de velocidade de queima para a matriz polimérica pura e para os nanocompósitos.

Os valores obtidos no teste mostraram que o aumento do teor de argila organofílica nos sistemas teve uma tendência em aumentar a velocidade de queima quando se compara os nanocompósitos com o PEVAD.

Tabela 3 - Resultados de velocidade de queima do teste de inflamabilidade.

Sistemas	Velocidade de Queima (mm/min)
PEVAD	24,83 ± 0,76
PEVAD/3OVMT	31,23 ± 1,53
PEVAD/6OVMT	40,83 ± 1,02
PEVAD/8PEgMA/1OVMT	26,39 ± 0,30
PEVAD/6PEgMA/3OVMT	32,14 ± 0,33

Fonte: Arquivo pessoal (2016).

Durante a execução do ensaio verificou-se a baixa emissão de fumaça e chama relativamente alta durante a queima de todas as amostras. O desprendimento de material foi contínuo durante a combustão do PEVAD, ocorrendo o consumo de toda a amostra. Para os sistemas compostos por argila o desprendimento de material ocorreu lentamente, em forma de gotas intermitentes. Essa mudança na forma de como o material se desprendia foi atribuída à formação de uma camada rica em argila que atua como barreira e tenta inibir o gotejamento contínuo do material. Comportamento semelhante foi observado por Alves *et al.* (2014)⁽²¹⁾, em nanocompósitos de polipropileno/argila montmorilonita organofílica.

Os resultados indicaram que todos os sistemas que continham argila apresentaram taxa de queima superiores ao sistema PEVAD, sendo a maior

velocidade de queima registrada para o sistema PEVAD/6OVMT, o qual a mesma foi 64,44% superior ao valor registrado para o PE verde puro.

Também foi observado que o compatibilizante teve pouco ou nenhum efeito na inflamabilidade das amostras, uma vez que os sistemas PEVAD/3OVMT e PEVAD/6PEgMA/3OVMT, que tinham o mesmo teor de argila, apresentaram velocidade de queima praticamente iguais.

Segundo Kiliaris e Papaspyrides (2010)⁽²²⁾, apesar de ser muito explorado o fato de que os nanocompósitos poliméricos reforçados com argila possam melhorar as propriedades de resistência à chama quando comparado com a matriz polimérica pura, muitos artigos não trazem o impacto que, em grande parte das vezes, o sal de amônio provoca nas argilas modificadas, pois o mesmo causa a combustão mais rápida da matriz polimérica comprometendo as propriedades de resistência à chama do material formado. O mesmo foi observado por Zhao *et al.* (2005)⁽⁶⁾ em que o sal de amônio, rico em matéria orgânica, utilizado no processo de organofilização, pode atuar como um catalizador e acelerar a degradação da matriz polimérica.

Outro fator que deve ter contribuído para a baixa resistência à propagação de chama dos nanocompósitos em questão, foi o fato já discutido da baixa dispersão da argila nos sistemas formados. Segundo Barbosa *et al.* (2013)⁽⁴⁾, a formação de nanocompósitos intercalados e esfoliados, característicos de uma boa dispersão de argila na matriz polimérica, proporciona boas propriedades de retardância de chama. Isso acontece porque quando a argila é bem dispersa, o efeito barreira é predominante⁽⁶⁾, diminuindo a difusão do oxigênio para o interior dos nanocompósitos, bem como impedindo que produtos voláteis gerados durante a combustão desses materiais escapem e alimentem a chama, uma vez que esses gases servem como combustíveis⁽²¹⁾.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foram desenvolvidos nanocompósitos a partir de polietileno verde como matriz polimérica, do PEgMA como compatibilizante polar e da argila vermiculita organofílica como material de reforço. Para isso, a técnica de intercalação por fusão foi adotada para o processamento, utilizando-se uma extrusora monorosca para mistura e homogeneização dos materiais e uma termoprensa hidráulica para moldagem dos corpos de prova, via compressão.

Devido aos problemas de dispersão da argila na matriz polimérica e de adesão entre esses componentes, as propriedades mecânicas foram em grande parte afetadas. O módulo de elasticidade aumentou para os nanocompósitos com PEgMA quando seus resultados foram comparados com polietileno verde puro. Por outro lado, o LRT, que está intimamente relacionado com a qualidade da adesão e a boa dispersão da argila, e a tensão de escoamento foram inferiores para todos os sistemas de nanocompósitos em relação à matriz polimérica pura.

Os resultados do teste de inflamabilidade indicaram o efeito catalítico dos nanocompósitos dada a presença do sal de amônio que é rico em matéria orgânica, uma vez que em todos os sistemas que continham argila, a capacidade de resistência à chama foi inferior à do polietileno puro. Além disso, a dispersão deficiente da argila na matriz polimérica dificultou a formação completa do efeito barreira que atuaria como inibidor de chama. Por meio do teste, inferiu-se que o compatibilizante não teve influência sobre a inflamabilidade, pois não causou modificações consideráveis neste parâmetro.

REFERÊNCIAS

1. SWAIN, S. K.; ISAYEV, A. I. Effect of ultrasound on HDPE/clay nanocomposites: Rheology, structure and properties. *Polymer*, v.48, p.281-289, 2007.
2. KOTAL, M.; BHOWMICK, A. k. Polymer Nanocomposites from Modified Clays: Recent Advances and Challenges. *Progress in polymer science*, v.51, p.127-187, 2015.
3. PAVLIDOU, S.; PAPASPYRIDES, C. D. A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Polymer degradation and stability*, v.87, p.183-11, 2008.
4. BARBOSA, R.; ALVES, S. T.; ARAÚJO, E. M.; MELO, Camino, G.; FINA, A.; ITO, E. N. Flammability and morphology of HDPE/clay nanocomposites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.115, p.627-634, 2013.
5. COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações. *Polímeros: ciência e tecnologia*, v.13, n.1, p.1-13, 2003.
6. ZHAO, C.; QIN, H.; GONG, F.; FENG, M.; ZHANG, S.; YANG, M. Mechanical, thermal and flammability properties of polyethylene/clay nanocomposites. *Polymer degradation and stability*, v.87, p.183-189, 2005.
7. NIAOUNAKIS, M. Introduction to Biopolymers. *Biopolymers Reuse, Recycling, and Disposal*, p.1-75, 2013.

8. CASTRO, D. O.; RULOVO-FILHO, A.; FROLLINI, E. Materials prepared from biopolyethylene and curaua fibers: Composites from biomass. *Polymer testing*, v.31, p.1-75, 2012.
9. KUCIEL, S.; JAKUBOWSKA, P.; KUZNIAR, P. A study on the mechanical properties and the influence of water uptake and temperature on biocomposites based on polyethylene from renewable sources. *Composites: part B*, v.64, p.72-77, 2014.
10. OLIVEIRA, A. G.; SILVA, A. L. N.; SOUSA, A. M. F.; LEITE, M. C. A. M.; JANDORNO, J. C.; ESCÓCIO, V. A. Composites based on green high-density polyethylene, polylactide and nanosized calcium carbonate: Effect of the processing parameter and blend composition. *Materials Chemistry and Physics*, p.1-8, 2016.
11. BORONAT, T.; FOMBUENA, V.; GARCIA-SANOQUERA, D.; SANCHEZ-NACHER, L.; BALART, R. Development of a biocomposite based on green polyethylene biopolymer and eggshell. *Materials and Design*, v.68, p.177-185, 2015.
12. UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A. Vermiculita. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. (Eds.) *Rochas e minerais industriais: usos e especificações*. 2 ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. p.865-867.
13. BRITO, G. F.; OLIVEIRA, A. D.; ARAÚJO, E. M.; MELO, T. J. A.; BARBOSA, R.; ITO, N. E. Nanocompósitos de Polietileno/Argila Bentonita Nacional: Influência da Argila e do Agente Compatibilizante PE-g-MA nas Propriedades Mecânicas e de Inflamabilidade. *Polímeros: ciência e tecnologia*, v.18, p.170-177, 2005.
14. MESQUITA, P. J. P.; ARAÚJO, R. J.; CARVALHO, L. H.; ALVES T. S.; BARBOSA, R. Thermal evaluation of PHB/PP-g-MA blends and PHB/PP-g-MA/vermiculite bionanocomposites after biodegradation test. *Polymer engineering and science*, v. 56, p. 555-560, 2016.
15. ARAÚJO, R. J.; CONCEIÇÃO I. D.; CARVALHO, L. H.; ALVES T. S.; BARBOSA, R. Influência da argila vermiculita brasileira na biodegradação de filmes de PHB. *Polímeros*, v.25, p.483-491, 2015.
16. BARBOSA, R.; ARAÚJO, E. M.; MELO, T. J. A.; ITO, E. N. Preparação de Argilas Organofílicas e Desenvolvimento de Nanocompósitos de Polietileno. Parte 2: Comportamento de Inflamabilidade. *Polímeros: ciência e tecnologia*, v.17, n.2, p.104-112, 2007.
17. ARAÚJO, E. M.; BARBOSA, R.; RODRIGUES, A. W. B.; MELO, T. J. A.; ITO, E. N. Processing and characterization of polyethylene/Brazilian clay nanocomposites. *Materials Science & Engineering A*, v.145-146, p.141-147, 2007.
18. DECKER, J. J.; MEYERS, K. P.; PAUL, D. R.; SCHIRALDI, D. A.; HILTNER, A.; NAZARENKO, S. Polyethylene-based nanocomposites containing organoclay: A new approach to enhance gas barrier via multilayer coextrusion and interdiffusion. *Polymer*, v.61, p.42-54, 2015.
19. ESSABIR, H.; BOUJMAL, R.; BENSALAH, M. O.; RODRIGUE, D.; BOUHFID, R.; QAISS, A. K. Mechanical and thermal properties of hybrid composites: Oil-palm

fiber/clay reinforced high density polyethylene. *Mechanics of Materials*, v.98, p.36-43, 2016.

20. ESSABIR, H.; ACHABY, M. E.; HILALI, E. M. O.; BOUHFD, R.; QAISS, A. K. Morphological, structural, thermal and tensile properties of high density polyethylene composites reinforced with treated argan nut shell particles. *Journal of Bionic Engineering*, v.12, p.129-141, 2015.

21. ALVES T. S.; BARBOSA, R.; CARVALHO, L. H.; CANEDO, E. C. Inflamabilidade de Nanocompósitos de Polipropileno/Argila Organofílica. *Polímeros*, v.24, n.3, p.183-189, 2014.

22. KILIARIS, P.; PAPASPYRIDES, C. D. Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science*, v.35, p.902-958, 2010.

GREEN POLYMER NANOCOMPOSITES: MECHANICAL BEHAVIOR AND FLAMMABILITY

ABSTRACT

Nanocomposites of green polyethylene, polar compatibilizer and organovermiculite were developed by melt intercalation method in a single screw extruder and molded by compression. The results showed that the nanocomposites that contained PEgMA had an increase in elasticity modulus in relation to the pure green PE, however the results were not satisfactory when analyzing the yield stress and tensile strength. This was caused, mainly, by poor dispersion of clay in polymer matrix and insufficient adhesion between the two materials. The flammability test revealed the catalytic effect of the clay, since in all evaluated nanocomposites the resistance to flame propagation was lower than the pure green PE.

Keywords: nanocomposites, green polyethylene, organovermiculite, polar compatibilizer, mechanical behavior and flammability.