

EFEITO DA INCORPORAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE ARGILAS ORGANOFÍLICAS NAS PROPRIEDADES TÊNSEIS DO PET¹

Poli(tereftalato de Etileno)/Argilas Organofílicas

Rodolfo da Silva Barbosa Ferreira²

Daniela de Lourdes Anjos Coutinho Simões Andrade³

Claudia Maria de Oliveira Raposo⁴

Itamara Farias Leite⁵

Suédina Maria de Lima Silva³

Resumo

Visando melhorar as propriedades mecânicas do poli(tereftalato de etileno) (PET) sem modificar as condições de processamento do mesmo, pequeno teor de argila organofílica (1% em massa), preparada com tecnologia nacional, foi incorporada ao PET pelo método de intercalação por fusão para obtenção de nanocompósitos. A morfologia e as propriedades mecânicas (resistência à tração, módulo de Young e alongamento na ruptura) foram investigadas. Os dados de difratometria de raios X evidenciaram que nanocompósitos com morfologia intercalada ordenada e intercalada desordenada foram obtidos, resultando em melhores propriedades tênses quando comparadas ao do PET puro. Notáveis aumentos na taxa e no grau de cristalização também foram conseguidos com a incorporação das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F ao polímero PET.

Palavras-chave: Argilas organofílicas; Poli(tereftalato de etileno); Nanocompósitos; Propriedades tênses.

EFFECT OF THE INCORPORATION OF DIFFERENT TYPES OF ORGANOCCLAYS ON THE TENSILE PROPERTIES OF PET Poly (ethylene terephthalate)/Organoclay

Abstract

In order to improve the tensile properties of poly(ethylene terephthalate) (PET) without modify the processing conditions of the polymer, small content of organoclay (1 wt%), prepared with national technology has been incorporated to PET by melt process. The morphology and mechanical properties (tensile strength, young's modulus and elongation at break) were investigated. The results of X ray diffraction showed that ordered/disordered intercalated morphology nanocomposites were obtained, resulting in improved tensile properties when compared to pure PET. Remarkable increases in the rate and degree of crystallization were also achieved with the incorporation of ANO19A: ANO49A:F organoclay to polymer PET.

Key words: Organoclay; Poly(ethylene terephthalate); Nanocomposites; Tensile properties.

¹ Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Graduando, Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Brasil.

³ Eng.^a de Materiais. Doutora, Professora Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais, UFCG, Brasil.

⁴ Eng.^a. Química. Doutora. Professora Departamento de Mineração e Geologia, UFCG, Brasil.

⁵ Eng.^a de Materiais. Doutora, Professora Depto. de Eng. de Materiais, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O uso de cargas minerais na modificação física de polímeros tem sido empregado nas últimas duas décadas para produzir materiais de alto desempenho com melhorias nas mais variadas propriedades como mecânicas, térmicas, de barreira e de inflamabilidade superiores aos materiais de origem⁽¹⁻³⁾. Um dos sistemas mais promissores é o híbrido baseado em polímero orgânico e argilomineral constituído de silicatos em camadas⁽⁴⁻⁸⁾. Estes materiais, denominados de nanocompósitos poliméricos, apresentam propriedades únicas quando comparados aos polímeros puros e compósitos convencionais, conseguidas com baixos percentuais em massa de argila (1–5%)⁽⁹⁻¹³⁾. Essa combinação é uma ótima alternativa para superar algumas limitações apresentadas por alguns polímeros, especialmente o poli(tereftalato de etileno) (PET), que é um termoplástico com excelentes propriedades físicas, mas que apresenta como desvantagem sua baixa velocidade de cristalização⁽¹⁴⁾. Assim, a preparação de nanocompósitos PET/silicatos em camadas pode resultar no melhoramento das propriedades deste polímero e, conseqüentemente num maior campo de aplicação.

Embora estudos sobre nanocompósitos PET/silicatos em camadas tenham sido realizados⁽¹⁵⁻¹⁸⁾, ainda não se tem domínio científico e tecnológico suficiente para preparação destes materiais, onde características como afinidade carga/matriz polimérica e estabilidade térmica dos sais orgânicos devem sempre ser considerados como fatores essenciais para a obtenção de nanocompósitos com morfologias intercalada/esfoliada preparados pelo método de intercalação por fusão, de modo a melhorar especialmente as propriedades mecânicas do produto final, objeto de estudo nesse trabalho. Além disso, as argilas organofílicas empregadas no desenvolvimento dos nanocompósitos são na grande maioria insumos importados de alto custo, a exemplo das argilas I.28E, I.30E e Cloisites produzidas pela Nanocor[®] e Southern Clay Products, respectivamente⁽¹⁸⁻²¹⁾, o que pode inviabilizar a aplicação comercial dos nanocompósitos produzidos pelas indústrias brasileiras.

Nesse contexto, argilas organofílicas com características e propriedades adequadas para obtenção de nanocompósitos poliméricos tem sido preparadas por pesquisadores da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da UFCG a partir de bentonitas provenientes de uma indústria local⁽²²⁻²⁴⁾. O uso dessas argilas tem resultado na obtenção de nanocompósitos de PET com morfologia parcialmente esfoliada⁽²⁵⁾. Entretanto, para que estes nanocompósitos possam ser empregados na produção de artefatos para várias aplicações é importante avaliar determinadas propriedades a exemplo das tênses. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência de diferentes tipos de argilas organofílicas na morfologia e propriedades tênses dos híbridos de PET.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O poli(tereftalato de etileno) (PET), *Cleartuf[®] Turbo[™]*, grau garrafa, fornecido pela M&G Polímeros do Brasil S.A/PE, sob a forma de *pellets* de coloração branca, foi usado como matriz polimérica para a preparação dos nanocompósitos. De acordo com as informações do fornecedor, este polímero apresenta uma viscosidade intrínseca de $0,80 \pm 0,02$ dL/g; teor de acetaldeído equivalente a 1.0 ppm;

temperatura de fusão cristalina de $246\pm 5^{\circ}\text{C}$ e densidade na faixa de $1,39 - 1,41 \text{ g/cm}^3$ ⁽²⁶⁾.

A bentonita Argel 35 (AN) com capacidade de troca catiônica (CTC) de 0,92 meq/g de argila ⁽²⁷⁾ fornecida pela Bentonit União Nordeste (BUN-Campina Grande, Brasil), sob a forma de pó com diâmetro médio de partícula inferior a $45 \mu\text{m}$ foi empregada na modificação orgânica com os sais, alquil amônio (A) e alquil fosfônio (F), por reação de troca iônica, segundo procedimento descrito por Leite (2010) ⁽²⁵⁾.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparação dos Nanocompósitos de PET

As argilas e o PET foram secos a 60°C e 160°C por 6 horas, respectivamente. Em seguida, concentrados (43 g de PET e 7 g de argila organofílica) foram preparados em um misturador interno acoplado ao reômetro de torque Haake System 90, operando a 260°C , 60 rpm por 10 minutos. Os concentrados foram misturados à matriz polimérica PET, em quantidades necessárias para obtenção do teor nominal de 1% em massa de argila, em uma extrusora dupla rosca contra-rotativa modelo NZ PHYPOLYMER SGSJ20, operando a $210, 264, 272, 268, 263, 263$ e 261°C em cada uma das zonas de aquecimento e velocidade de rotação de 250 rpm. Posteriormente, o PET puro e os híbridos PET/argila organofílica foram moldados por injeção em equipamento Fluidmec a 240°C e temperatura do molde de 8°C , na forma de corpos de prova de tração. Os híbridos obtidos foram codificados como PET/ANO_xA:yF onde x e y refere-se a proporção de sal A:F empregado, 19:1 ou 49:1.

2.2.2 Caracterização dos híbridos de PET

2.2.2.1 Difractometria de raios X (DRX)

As medidas de DRX foram conduzidas à temperatura ambiente em um equipamento Shimadzu XRD-6000, utilizando radiação $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), tensão de 40 kV e corrente de 30 mA. As amostras foram caracterizadas em um intervalo de 2θ entre $2,0$ a $12,0^{\circ}$ e velocidade de varredura de $2^{\circ}/\text{min}$. Com esta técnica é possível confirmar a intercalação dos sais orgânicos nas galerias da argila pela expansão do espaçamento basal da argila e investigar se um microcompósito ou um nanocompósito foi obtido ⁽¹⁻²⁾.

2.2.2.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As análises de DSC dos híbridos de PET foram conduzidas em aparelho DSC Q20, TA Instruments, operando a uma taxa de $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ sob atmosfera de nitrogênio. As amostras foram aquecidas de 30 a 280°C , mantidas por 3 min a 280°C seguidas de resfriamento até a temperatura ambiente. Em seguida, estas amostras foram aquecidas novamente até 280°C empregando a mesma taxa de aquecimento. A quantidade de amostra empregada foi em torno de 10 mg, utilizando cadinho de alumínio. O valor da entalpia de fusão do PET 100% cristalino utilizado para o cálculo do grau de cristalinidade das amostras de PET puro e dos híbridos PET/argila organofílica foi de $136,2 \text{ J/g}$ ⁽¹⁹⁾. O grau de cristalinidade (X_c) foi calculado a partir da entalpia de fusão da amostra, obtida no segundo aquecimento (Equação 1). Esta análise foi realizada visando avaliar o efeito do tipo de argila na velocidade de cristalização do PET.

$$\% X_c = \left(\frac{\Delta H_m}{\Delta H_m^\circ} \right) * 100 \quad (1)$$

Onde:

- ΔH_m° - entalpia teórica de fusão do PET 100% cristalino em (J/g); e
- ΔH_m - entalpia de fusão da amostra determinada no segundo aquecimento (J/g).

2.2.2.3 Propriedades mecânicas

As amostras de PET puro e os híbridos PET/argila organofílica moldados por injeção, foram testados mecanicamente sob tração segundo a norma ASTM D638⁽²⁸⁾. O ensaio foi conduzido em uma máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL 10.000, Software–Tesc 304, empregando uma taxa de deslocamento de 5 mm/min. Este ensaio foi realizado a temperatura ambiente para avaliar a resistência à tração, módulo de Young e alongamento na ruptura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Híbridos de PET

3.1.1 Difractometria de raios X (DRX)

A difratometria de raios X é uma ferramenta indispensável para avaliar a morfologia dos nanocompósitos⁽¹⁻²⁾. Isto porque o espaçamento basal da argila na presença do polímero é um indicativo do grau de intercalação/esfoliação do polímero nos silicatos em camadas. Os difratogramas do PET puro e dos híbridos PET com 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F estão apresentados na Figura 1. Como era de se esperar, no difratograma do PET puro não se observa nenhuma reflexão basal na faixa de 2θ estudado devido ao caráter amorfo do referido polímero. A incorporação das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F ao PET resultou na obtenção de nanocompósitos com morfologia intercalada ordenada e intercalada desordenada, respectivamente. O espaçamento basal (d_{001}) aumentou de 1,77 nm (ANO19A:F) para 3,57 nm quando a argila ANO19A:F foi incorporada ao PET e de 1,77 nm (ANO49A:F) para 3,87 nm quando da incorporação da argila ANO49A:F ao referido polímero. No entanto, nos difratogramas dos respectivos nanocompósitos observa-se que a reflexão basal do híbrido PET/ANO49A:F apresentou-se mais alargado sugerindo um maior grau de dispersão dos silicatos em camadas na matriz PET.

O espaçamento basal (d_{001}) aumentou de 1,77 nm para 3,57 nm quando ambas as argilas ANO19A:F e ANO49A:F foram incorporadas ao PET. Observa-se ainda nos difratogramas das amostras PET/ANO19A:F e PET/ANO49A:F a presença de um discreto ombro de baixa intensidade em torno de $2 \sim 6^\circ$, correspondendo a um espaçamento basal de 1,57 nm. Este ombro está possivelmente relacionado com uma pequena parte das camadas de argila organofílica que não foi intercalada pelas cadeias do PET. Comportamento semelhante tem sido reportado por Zanetti *et al.* (2004)⁽²⁹⁾.

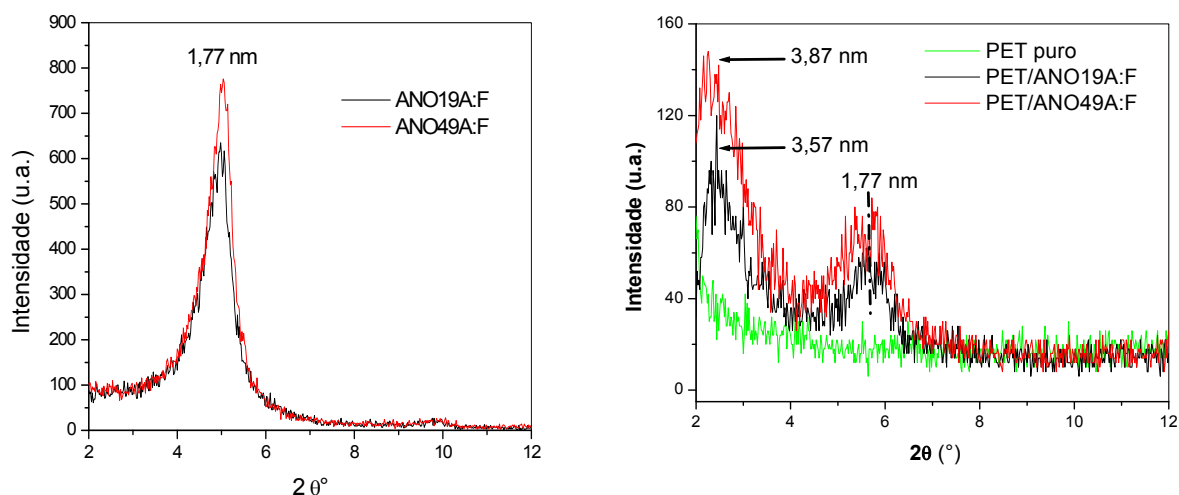


Figura 1. Difratomogramas do PET puro e dos híbridos PET contendo 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F.

3.1.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As medidas de DSC foram realizadas com o objetivo de avaliar o efeito dos diferentes tipos de argilas organofílicas sob as transições térmicas e o grau de cristalinidade do polímero PET. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados de DSC do PET puro e dos híbridos PET com 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F no primeiro resfriamento e segundo aquecimento. Os valores da temperatura de fusão cristalina (T_m) do PET não foram alterados com a incorporação dos diferentes tipos de argilas organofílicas. No entanto, a temperatura de cristalização sob resfriamento (T_{cc}) do PET foi alterada com a incorporação das argilas organofílicas. Aumento em torno de 24°C foi obtido com a incorporação de ambas as argilas organofílicas ao polímero PET. Isto implica num aumento da taxa de cristalização uma vez que a argila pode atuar como agente de nucleação heterogênea conforme observado por Wang *et al.* (2006)⁽¹⁴⁾. Comportamento semelhante também tem sido observado por Calcagno *et al.* (2007)⁽³⁰⁾.

Quanto ao grau de cristalinidade (X_c), verificam-se aumentos de 25 e 31% para os nanocompósitos contendo ANO49A:F e ANO19A:F, respectivamente, quando correlacionados ao do PET puro. Os diferentes valores nos graus de cristalinidade (Tabela 1) podem estar associados à heterogeneidade da dispersão da argila no PET, resultando em diferentes efeitos nucleantes. Este resultado está de acordo com os estudos de cristalização reportado por Calcagno e colaboradores (2007)⁽³⁰⁾.

Tabela 1. Dados de DSC do PET puro e dos híbridos PET contendo 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F, determinadas sob aquecimento e resfriamento

Amostras	1° Resfriamento		2° Aquecimento	
	T_{cc} (°C)	T_m (°C)	ΔH_m (J/g)	X_c (%)
PET puro	174	250	3,02	2,21
PET/ANO19A:F	199	250	46,0	33,82
PET/ANO49A:F	197	250	38,0	27,94

T_{cc} – temperatura de cristalização sob resfriamento; T_m – temperatura de fusão cristalina no segundo aquecimento; ΔH_m – entalpia de fusão no segundo aquecimento; X_c – grau de cristalinidade.

3.1.3 Testes Mecânicos

Na Tabela 2 e Figura 2 estão reportados os valores e as curvas de módulo de Young, resistência à tração e alongamento na ruptura do PET puro e dos híbridos de

PET contendo 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F, respectivamente.

Geralmente, as propriedades mecânicas dos nanocompósitos são significativamente melhoradas quando as camadas de argilas são totalmente esfoliadas e quando uma boa afinidade entre as fases polímero/argila é atingida. Porém, não é necessário obter uma completa esfoliação de partículas de argilas para se ter melhorias nas propriedades mecânicas⁽³¹⁾.

A incorporação de diferentes composições de argilas organofílicas na matriz PET aumentou gradativamente a rigidez dos nanocompósitos. Com relação à resistência à tração e alongamento na ruptura verificam-se de maneira geral notáveis melhorias nestas propriedades, especialmente quando a argila organofílica ANO19A:F foi incorporada ao PET. É possível que a interação polímero-argila tenha sido elevada, favorecendo a efetiva transferência de tensões da matriz polimérica para a carga inorgânica resultando num considerável aumento nas propriedades tênses. De acordo com Chang *et al.* (2004)⁽¹¹⁾ dois fatores são essenciais para se alcançar melhores propriedades mecânicas nos nanocompósitos poliméricos: bom grau de dispersão da argila no polímero e forte interação entre ambos os componentes polímero/argila⁽³²⁾. Tais melhorias podem ser atribuídas ainda ao fato das argilas organofílicas terem atuado como agentes nucleantes quando incorporadas ao PET, resultando, portanto, num considerável aumento do grau de cristalinidade em relação ao polímero puro. No entanto, quando se compara os nanocompósitos obtidos com diferentes organofílicas verifica-se que o híbrido PET contendo a argila organofílica ANO19A:F apresentou discreto aumento nas propriedades de resistência à tração e alongamento na ruptura do que as apresentadas pelo híbrido PET contendo a argila ANO49A:F. Sugere-se que a argila ANO19A:F tenha favorecido numa melhor dispersão e interação com o polímero. Estes resultados corroboram os dados de DRX e DSC discutidos anteriormente.

Tabela 2. Propriedades mecânicas do PET puro e dos híbridos PET com 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e PET/ANO49A:F

Amostras	Módulo de Young (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Alongamento na ruptura (%)
PET	291,53 ± 58,55	10,41 ± 1,34	5,06 ± 1,23
PET/ANO19A:F	832,47 ± 20,36	55,66 ± 0,46	11,48 ± 0,47
PET/ANO49A:F	916,05 ± 23,73	54,51 ± 1,85	10,10 ± 0,67

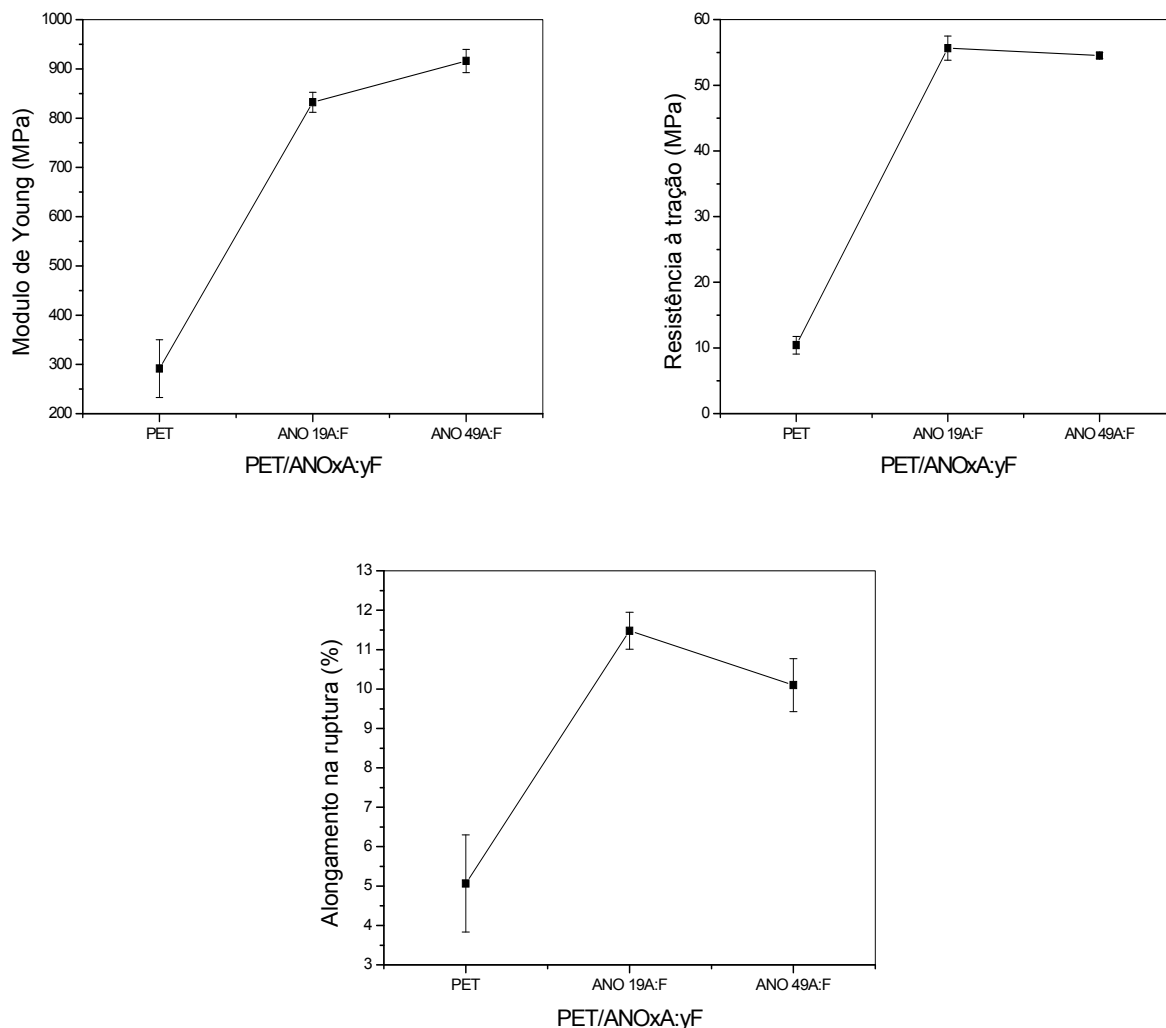


Figura 2. Curvas de módulo de Young, resistência à tração e alongamento na ruptura do PET puro e os híbridos PET contendo 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F.

4 CONCLUSÃO

Nanocompósitos de poli(tereftalato de etileno) (PET) com morfologias intercalada ordenada e intercalada desordenada foram obtidos contendo 1% em massa das argilas organofílicas ANO19A:F e ANO49A:F, respectivamente. Através dos resultados de DSC pode-se verificar que ambas as argilas organofílicas atuaram como agente nucleação, promovendo notáveis aumentos nos valores da taxa de cristalização e grau de cristalinidade dos nanocompósitos de PET, especialmente, quando a argila ANO19A:F foi utilizada, o que pode ter resultado numa considerável melhoria das propriedades tênses do PET. Os resultados indicaram que foi possível preparar nanocompósitos de PET com boas propriedades tênses empregando argilas organofílicas desenvolvida com tecnologia nacional.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro, a Bentonit União Nordeste/Paraíba/Brasil pela doação da argila natural e a M&G Polímeros do Brasil S.A/PE pelo fornecimento do PET.

REFERÊNCIAS

- 1 RAY, S. S.; OKAMOTO, M. Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, v. 28, p. 1539-1641, 2003.
- 2 UTRACKI, L. A. Clay-Containing Polymeric Nanocomposites. 1st Edition. Rapra Technology Limited. United Kingdom. 2004. v. 1.
- 3 LEITE, I. F.; RAPOSO, C. M. O.; MALTA, O. M. L.; SILVA, S. M. L. Efeito do tipo e do teor de argila na estabilidade térmica de compósitos de PET. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v.5, p. 5-11, 2010.
- 4 TIDJANI, A.; WILKIE C. A. Photo-oxidation of polymeric – inorganic nanocomposite: chemical, thermal stability and fire retardancy investigation. *Polymer Degradation and Stability*, v. 74, p. 33-37, 2001.
- 5 AYRES E.; ORÉFICE R. L. Nanocompósitos derivados de dispersões aquosas de poliuretano e argila: influência da argila na morfologia e propriedades mecânicas *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 17, p.339-345, 2007.
- 6 RODOLFO JR, A.; MEI, LHI Nanocompósitos de PVC com argila organicamente modificada. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 19, p. 1-9, 2009.
- 7 MORALES, A. R.; DA CRUZ, C. V. M.; PERES, L.; ITO, E. N. Nanocompósitos de PEAD/PEBDL - Avaliação da Esfoliação da Argila Organofílica Pela Aplicação do Modelo de Nielsen e das Propriedades Mecânicas, Ópticas e Permeabilidade. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v.. 20, p. 39-45, 2010
- 8 MADALENO, L.; SCHJØDT-THOMSEN, J.; PINTO, J. C. Morphology, thermal and mechanical properties of PVC/MMT nanocompósitos prepared by solution blending and solution blending + melt compounding *Composites Sci. Technol.*, v. 70, p.804 - 814, 2010.
- 9 GILMAN, J. W. Flammability and thermal stability studies of polymer layered-silicates (clay) nanocomposites. *Applied Clay Science*, v. 15, p. 31-49, 1999.
- 10 AWAD, W. H.; GILMAN, J. W.; NYDEN, M.; HARRIS, R. H.; SUTTO, T. E.; CALLAHAN, J.; TRULOVE, P. C.; DELONG, H. C.; FOX, D. M. Thermal degradation studies of alkyl-imidazolium salts and their application in nanocomposites. *Thermochimica Acta*, v. 409, p. 3-11, 2004.
- 11 CHANG, J.; KIM, S. J.; JOO, Y. L.; IM, S. Poly(ethylene terephthalate) nanocomposites by in situ interlayer polymerization: the thermo-mechanical properties and morphology of the hybrid fibers. *Polymer*, v. 45, p. 919-926, 2004.
- 12 XIAO, J.; HU, Y.; WANG, Z.; TANG, Y.; CHEN, Z.; FAN, W. Preparation and characterization of poly(butylenes terephthalate) nanocomposites from thermally stable organic-modified montmorillonite. *European Polymer Journal*, v. 41, p. 1030- 1035, 2005.
- 13 XU, X.; DING, Y.; QIAN, Z.; WANG, F.; WEN, B.; ZHOU, H.; ZHANG, S.; YANG, M. Degradation of poly(ethylene terephthalate)/clay nanocomposites during melt extrusion: Effect of clay catalysis and chain extension. *Polymer Degradation and Stability*, v. 94, p. 113-123, 2009.
- 14 WANG, Y.; GAO, J.; MA, Y.; AGARWAL, U. S. Study on mechanical properties, thermal stability and crystallization behavior of PET/MMT nanocomposites. *Composites: Part B*, v. 37, p. 399-407, 2006.
- 15 MAZEYAR P, SIAMAK M, ABOSAEED R, MOHAMAD-ESMAIL Y). Effect of the Addition of Modified Nanoclays on the Surface Properties of the Resultant Polyethylene Terephthalate/Clay Nanocomposites. *Polymer-Plastics Technol. Eng.*, v.49: 874–884, 2010.
- 16 XU, X., DING, Y., WANG, F.; WEN, B.; ZHANG, J.; ZHANG, S.; YANG, M. Effects of Silane Grafting on the Morphology and Thermal Stability of Poly(ethylene terephthalate)/Clay Nanocomposites. *Polymer Composites*, v.31, p.825-834, 2010.
- 17 COSTACHE, M. C.; HEIDECKER, M. J.; MANIAS, E.; WILKIE C. A. Preparation and characterization of poly(ethylene terephthalate)/clay nanocomposites by melt blending using thermally stable surfactants. *Polym. Adv. Technol. V.* 17, p. 764–771, 2006.

- 18 BARBER, G. D.; CALHOUN, B. H.; MOORE, R. B. Poly(ethylene terephthalate) ionomer based clay nanocompósitos produced via melt extrusion *Polymer*, v.46, p. 6706–6714, 2005.
- 19 STOEFFLER, K.; LAFLEUR, P. G.; DENAULT, J. Thermal decomposition of various alkyl oniumorganoclays: Effect on polyethylene terephthalate nanocomposites' properties. *Polymer Degradation and Stability*, v. 93, p. 1332-1350, 2008.
- 20 TARAMESHLOU, M.; JAFARI, S.; KHONAKDAR, H. A.; FAKHRAVAR, A.; FARAHANI, M. F. PET-based Nanocomposites Made by Reactive and Remodified Clays. *Iranian Polymer Journal*. V.19, p.521-529, 2010.
- 21 KRÁČALÍK, M.; MIKEŠOVÁ, J.; PUFFR, R.; BALDRIAN, J.; THOMANN, R.; FRIEDRICH, C. Effect of 3D structures on recycled PET/organoclay nanocompósitos. *Polymer Bulletin*, v.58, p.313–319, 2007.
- 22 RAMOS FILHO, F. G.; MELO, T. J. A.; RABELLO, M. S.; SILVA, S. M. L. Thermal Stability of Nanocomposites Based on Polypropylene and Bentonit. *Polymer Degradation and Stability*, v.89, p.383 - 392, 2005.
- 23 SILVA, S.; ARAÚJO, P. E.; FERREIRA, K. M.; CANEDO, E.; CARVALHO, L.; RAPOSO, C. M. Effect of Clay/water ratio during bentonite Clay organophilization on the characteristics of the organobentonites and its polypropylene nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, v. 49, p.1696-1702, 2009.
- 24 a.LEITE, I. F.; SOARES, A. P. S.; CARVALHO, L. H.; MALTA, O. M. L.; RAPOSO, C. M. O.; SILVA, S. M. L. Characterization of pristine and purified organobentonites. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.100, p.563-569, 2010.
- 25 b.LEITE, I. F. Estudo Experimental e Teórico Sobre o Comportamento de Intercalação de Sais Orgânicos em Argilas e Seu Efeito nas Propriedades de Nanocompósitos à Base de PET, Pós-Graduação em Ciência de Materiais. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, 2010.
- 26 Ficha de Informação e Segurança de Produto Químico, 2007. Disponível em: http://www.gruppomg.com.br/prod_resinas/rhopet_cturbo.html Acesso em: junho de 2011.
- 27 CHEN, T. J.; SANTOS, P. S.; FERREIRA, H. C.; ZANDONADI, A. R.; CALIL, S. F.; CAMPOS, L. V. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions e da Área Específica de Algumas Argilas e Caulins Cerâmicos Brasileiros Pelo Azul de Metileno e Sua Correlação com Algumas Propriedades Tecnológicas. *Cerâmica*, v. 20, n. 79, p.305-327, 1974.
- 28 AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-638: Standard test method for Tensile Properties of Plastics. West Conshohocken, 2003.
- 29 ZANETTI, M.; PIERANGIOLA, B.; COSTA, L. Thermal degradation behaviour of PE/clay nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability*, v. 85, p. 657-665, 2004.
- 30 CALCAGNO, C. I. W.; MARIANI, C. M.; TEIXEIRA, S. R.; MAULER, R. S. The effect of organic modifier of the clay on morphology and crystallization properties of PET nanocompósitos. *Polymer*, v. 48, p.966 – 974, 2007.
- 31 OU, C. F.; HO, M. T.; LIN, J. R. The nucleating effect of montmorillonite on crystallization of PET/montmorillonite nanocomposite. *Journal of Polymer Research*, v. 10, p. 127-132, 2003.
- 32 SÁNCHEZ-SOLIS, A.; ROMERO-IBARRA, I.; ESTRADA, M. R.; CALDERAS, F.; MANERO, O. Mechanical and rheological studies on polyethylene terephthalate-montmorillonite nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, v. 44, p. 1094-1102, 2004.