



Processamento e avaliação das propriedades físicas, morfológicas e térmicas de compósitos de pead reciclado e vermiculita

Processing and evaluation of physical, morphological and thermal properties of recycled hdpeand vermiculite composites

Elaine Vidal Dias Gomes Libano¹Patrícia Soares da Costa Pereira²Leonardo Cesar Casanova de Jesus Gonçalves³Karolina Vieira de Souza Coelho⁴

Resumo: Neste trabalho foram preparados compósitos à base de polietileno de alta densidade reciclado (PEADr) e vermiculita (VMT) (3, 5 e 7% em peso) na ausência e presença do agente compatibilizante polietileno grafitizado com anidrido maleico (PE-g-MA) (3% em peso) em extrusora dupla-rosca contra-rotatória. Os corpos de prova foram obtidos por compressão e caracterizados por ensaios físico-mecânicos, morfológicos e térmicos. Os compósitos obtidos apresentaram aumento da densidade e da dureza e uma diminuição do índice de fluidez com o aumento do teor de argila. Os resultados de difratometria de raios X (DRX) revelaram um pequeno deslocamento do pico principal da VMT para ângulos menores. Observou-se através da análise de microscopia eletrônica de transmissão (MEV) um aumento da rugosidade dos materiais com o aumento do teor da VMT, porém na presença do compatibilizante esta tendência diminuiu, sugerindo a melhoria da interação entre os materiais. Na calorimetria diferencial de varredura (DSC) foi observada a presença de três temperaturas de fusão cristalinas (T_m). A T_m central corresponde ao PEADr e as outras duas estão possivelmente relacionadas à presença de impurezas como o EVA e o PP. Não foram observadas mudanças significativas na T_m de todos os compósitos. Apenas os compósitos com menor e maior teor de VMT na ausência de compatibilizante apresentaram variações no X_c em relação ao polímero puro. Os resultados da análise termogravimétrica (TGA) não revelaram alterações na estabilidade térmica dos compósitos.

Palavras-chave: compósitos, polietileno de alta densidade reciclado, vermiculita

¹ UEZO – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

² UEZO – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

³ UEZO – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

⁴ UEZO – Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste

Abstract: In this work were prepared composites based on recycled high density polyethylene (PEADr) and vermiculite (TMV) (3, 5, and 7wt%) in the absence and presence of the compatibilizing agent graftizado polyethylene-graft-maleic anhydride (PE-g-MA) (3 wt%) in a co-rotating twin-screw extruder. The specimens were obtained by compression and characterized by physical-mechanical, morphological and thermal tests. The composites obtained showed an increase of density and hardness and a decrease in the melt index with increasing clay content. Results of X-ray diffraction (XRD) revealed a small shift of the main peak of VMT for smaller angles. It was observed through the transmission electron microscopy analyzes (SEM) an increase of the roughness of the material with increasing content of the VMT, but in the presence of compatibilizer decreased this trend suggesting improved interaction between the materials. In differential scanning calorimetry (DSC) was observed the presence of three crystalline melting temperatures (T_m). The T_m corresponds to PEADr central and the other two are possibly related to the presence of impurities such as EVA and PP. No significant changes in T_m were observed for all composites. Only the composites with lower and higher content of VMT in the absence of compatibilizer showed variations in X_c in relation to the pure polymer. The thermogravimetric analysis (TGA) results revealed no changes in the thermal stability of the composites.

Keywords: composites, recycled high density polyethylene, vermiculite

1. Introdução

O campo de aplicação dos polímeros tem sido largamente ampliado nos últimos anos, ocupando espaços antes pertencentes a outros materiais como às cerâmicas e os metais. Estas novas aplicações requerem, necessariamente, novas propriedades que muitas vezes o polímero puro não possui. Uma das formas de modificar as propriedades dos polímeros é por meio da incorporação de cargas (talco, carbonato de cálcio, caulim, fibras de vidro, etc) neste caso, o material é denominado de compósito polimérico (Khanan e Almaadeed, 2015; Macedo *et al*, 2013).

Materiais compósitos são formados pela união de duas ou mais fases (reforço e matriz) que possuem propriedades diferentes. Tanto o reforço quanto a matriz mantêm suas características físicas e químicas originais, mas quando unidos exibem uma combinação de propriedades mecânicas que não podem ser adquiridas por nenhum dos componentes atuando isolados, devido à presença de uma interface entre os dois. Entende-se aqui que a interface é uma superfície formada por uma fronteira comum entre o reforço e a matriz, que se encontram em contato, e que permite a transferência de carga entre tais componentes. Materiais compósitos possuem características exclusivas que não são encontradas por nenhum dos componentes que o constituem (Peixoto, 2012).

Recentemente uma nova classe de compósitos tem sido desenvolvida os nanocompósitos poliméricos. O desenvolvimento da nanotecnologia nas últimas décadas conduziu a um crescimento e um grande interesse pela área de nanocompósitos devido às propriedades especiais apresentadas por estes materiais, não apenas por eles possibilitarem à obtenção das propriedades equivalentes a dos compósitos tradicionais, mas também por exibirem propriedades ópticas, elétricas, de barreira, de inflamabilidade e magnéticas únicas. Muita atenção vem sendo dada aos nanocompósitos poliméricos; especialmente os nanocompósitos desenvolvidos com silicatos em camadas, que representam uma alternativa aos compósitos desenvolvidos com cargas convencionais e utilizam níveis mínimos (<10%) de nanocargas (Asgariet *al*, 2017; Chang, 2015; Komatsuet *al* 2014; Scarfatoet *al*, 2016; Zare, 2016).

Com o avanço da ciência e tecnologia e o crescimento do mercado consumidor, os resíduos sólidos ganham cada vez mais espaço no cenário mundial. A geração, acúmulo e disposição desses resíduos, têm se tornado uma preocupação constante em todos os setores. Essa preocupação é originada do aumento das restrições impostas pela legislação ambiental e das exigências do mercado para desenvolvimento de processos e produtos ambientalmente corretos. Devido a sua baixa degradabilidade, os polímeros são considerados o maior problema quando se trata de resíduos sólidos. Uma forma de alterar essa problemática é através da

reciclagem, que reduz a quantidade de resíduos efetivamente descartados pela população. Os polímeros reciclados exercem papéis fundamentais na preservação dos recursos naturais, na minimização de resíduos provenientes de processamentos, além de movimentar um grande número de unidades industriais, envolvendo muitos trabalhadores, desde a coleta seletiva até a produção de novos artefatos (Zare, 2013; Chenet *al*, 2017).

2. Metodologia

2.1 Materiais

Na preparação dos compósitos, empregou-se como matriz um polietileno de alta densidade reciclado fornecido pela empresa Peterlucom índice de fluidez = 1,760g/10min (190°C/2,16kg). O agente compatibilizante, um polietileno funcionalizado (PEAD enxertado com anidrido maleico) fornecido pela Polybond, sob o nome comercial de Polybond3009, com 1,0% de anidrido maleico (nominal) e índice de fluidez de 4g/10min (ASTM D1238, 190 °C/2,16Kg), foi utilizado como agente compatibilizante no teor de 3% em peso. Como carga, utilizou-se a vermiculita (VMT), uma argila nacional fornecida pela Brasil Minérios (Goiânia, GO) com o nome comercial de Vermifloc (diâmetro de partículas entre 0,15 e 8,0 mm; densidade: 90 a 170 kg/m³ a 25 °C).

2.2. Pré-tratamento da vermiculita

A vermiculita (VMT) utilizada neste estudo foi recebida na forma bruta, havendo necessidade de moagem. O material foi primeiramente seco em estufa (80°C) por 24h, moído e peneirado até alcançar uma granulometria de 177 µm. Depois a argila foi seca em estufa novamente (80°C) por 24h armazenada em dessecador para a utilização na próxima etapa.

2.3. Preparação dos compósitos

Foram preparados compósitos de PEAD reciclado com vermiculita (3, 5 e 7% em peso) na ausência e presença de agente compatibilizante polietileno graftizado com anidrido maleico (PE-g-MA - 3% em peso) em extrusora dupla-rosca co-rotatória. O perfil de temperatura utilizado foi de 70°C para a zona 1, 190°C para a zona 2, 140°C (zonas 3 e 4), 160°C (zonas 5 e 6), 180°C (zonas 7 a 9) e 190°C no cabeçote. A velocidade de rotação utilizada foi de 60rpm. As amostras foram obtidas na forma de filamentos contínuos. O material foi então picotado em tamanho próximo ao grão de PEAD reciclado original.

2.4. Obtenção dos corpos de prova

Os corpos de prova para as diferentes caracterizações (físico-mecânicas, morfológicas e térmicas) foram estampadas de placas, obtidas a partir do material processado na extrusora, por compressão em prensa de bancada.

Essas placas foram obtidas empregando uma temperatura de 190°C, pressão de 3 toneladas durante 3 minutos.

2.5. Caracterizações

Os compósitos obtidos foram analisados por ensaios físico-mecânicos como densidade, dureza e índice de fluidez (MFI). A morfologia desses compósitos foi investigada por difratometria de raios X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As propriedades térmicas foram avaliadas pelas técnicas de calorimetria diferencial de varredura (DSC) e análise termogravimétrica (TGA).

A análise de densidade das amostras foi executada segundo a norma ASTM D792-13(2013). As amostras foram pesadas secas e posteriormente submersas em um recipiente com água destilada, sendo avaliado o empuxo. A partir desses dados, o equipamento forneceu o valor da densidade aparente do material analisado. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando-se a média aritmética das três determinações.

Os ensaios de dureza foram executados segundo a norma ASTM D2240-05(2010). Pelo método escolhido, o corpo de prova foi colocado em uma bancada, usando-a como apoio. Cinco pontos foram escolhidos e uma carga foi aplicada. Com essa ação, o equipamento forneceu o valor da dureza Shore D do material analisado. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando assim a média aritmética das três determinações.

O índice de fluidez das amostras foi avaliado segundo a norma ASTM D-1238-01(2002). Foram separados 5,00g de cada amostra e colocada no equipamento que estava aquecido a uma temperatura de 190°C e submetido à carga de 2,160 Kg. Para cada amostra, foram coletadas 5 alíquotas no tempo de 2 minutos, cada. Após o resfriamento das alíquotas, cada uma foi pesada. A partir dos dados obtidos, foi calculado o valor do índice de fluidez, cuja unidade é expressa em gramas/10 minutos. Para cada amostra foi excluído o maior e o menor valor, calculando assim a média aritmética das três determinações.

As análises de DRX para a argila, o polietileno de alta densidade reciclado e os compósitos polímero/argila, em diferentes concentrações de argila, foram realizadas em um difratômetro de raios X, utilizando radiação $K\alpha$ do cobre ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), tensão de 40 kv, corrente de 40 mA, varredura entre 2θ de 2 a 35°. Através da equação de Bragg (Equação 1) foi calculada a distância interplanar no plano hkl (001).

$$n \lambda = 2 d_{hkl} \text{ sen } \theta \quad \text{Equação 1}$$

Onde: n é a ordem de difração; d_{hkl} é o espaçamento interplanar; θ é o ângulo de difração (ângulo de Bragg). Esta análise foi realizada com o objetivo de verificar o efeito de adição da argila na cristalização do PEADr da inserção de cadeias poliméricas entre as lamelas da argila.

A análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em equipamento LEICA F440, nas seguintes condições: voltagem de aceleração de elétrons igual a 30 KV e ampliação de 250 e 500 vezes. Os corpos de prova dos compósitos PEADr/vermiculita, foram imersos em nitrogênio líquido por alguns minutos e fraturadas manualmente, posteriormente foram recobertos por uma fina camada de ouro e observados em microscópio eletrônico de varredura a fim de se estudar a morfologia do material.

A análise de DSC foi feita em equipamento NETZSCH DSC 200 F3 TA. As condições de análise foram: taxa de aquecimento de 10°C/min; faixa de temperatura variando da temperatura ambiente até 200°C. Essa técnica foi utilizada para medir as transições térmicas características de um material. O grau de cristalinidade (X_c) de cada amostra foi calculado como a razão entre a entalpia de fusão da amostra e a entalpia de fusão do PE 100% cristalino ($\Delta H^\circ = 293\text{J/g}$) (Coleman e Craig, 1996).

O TGA foi realizado no analisador termogravimétrico TA INSTRUMENT Q600 visando verificar a variação de massa das amostras em função da temperatura com diferentes teores de vermiculita na matriz de PEADr. A análise foi feita sob atmosfera de oxigênio, velocidade de 10°C/min, com faixa de aquecimento compreendida entre 30 e 600°C.

3. Resultados e Discussão

3.1. Caracterização físico-mecânica

Na Tabela 1 são apresentados os valores de densidade, dureza e índice de fluidez das amostras obtidas por meio do processamento em extrusora dupla rosca do PEAD reciclado (PEADr) e da vermiculita (VMT).

Tabela 1: Valores de densidade, dureza e índice de fluidez do PEADr e dos compósitos PEADr/VMT e PEADr/PE-g-MA/VMT.

Amostras	Densidade (g/cm ³)	Dureza (Shore D)	MFI (g/10 mim)
PEADr	0,915 ± 0,03	45,33 ± 0,57	1,760 ± 0,16
PEADr/3% VMT	0,949 ± 0,05	48,00 ± 1,00	1,203 ± 0,06
PEADr/5% VMT	0,937 ± 0,04	47,00 ± 1,00	0,811 ± 0,04
PEADr/7% VMT	0,955 ± 0,02 0,917 ± 0,04	47,66 ± 0,57	0,759 ± 0,04
PEADr/PE-g-MA/3% VMT	0,835 ± 0,04	48,00 ± 1,00	1,411 ± 0,26
PEADr/PE-g-MA/5% VMT	0,964 ± 0,03	47,33 ± 1,52	0,919 ± 0,18
PEADr/PE-g-MA/7% VMT		48,00 ± 1,00	0,769 ± 0,10

Os resultados de densidade mostraram um ligeiro aumento para a maioria dos compósitos. Exceto para os materiais com 3 e 5% em peso de vermiculita na presença de compatibilizante não foi observada esta tendência.

Os compósitos com 3, 5 e 7% em peso de VMT na presença e ausência de compatibilizante apresentaram valores de dureza Shore muito próximos ao PEAD reciclado.

Foi observada uma diminuição do índice de fluidez com a introdução da argila em todos os compósitos. Sendo verificada também uma ligeira queda desta propriedade com o aumento do teor de vermiculita. Estes resultados estão provavelmente associados à restrição do movimento das cadeias e, portanto do fluxo, imposta pela presença da VMT.

3.1. Difractometria de raios X (DRX)

Através desta técnica podem-se observar comparativamente as mudanças nas intensidades dos principais picos referentes aos planos cristalográficos do PEADr puro e dos compósitos.

O deslocamento ou a ausência do pico de difração do plano 001 do cristal, à medida que os valores de 2θ no difratograma diminuem, indica a formação de nanocompósito intercalado ou esfoliado, respectivamente (Chen *et al*, 2017; El-sheikhy e Al-shamrani, 2017; Kotal e Bhowmick, 2015; Liborio *et al*, 2015).

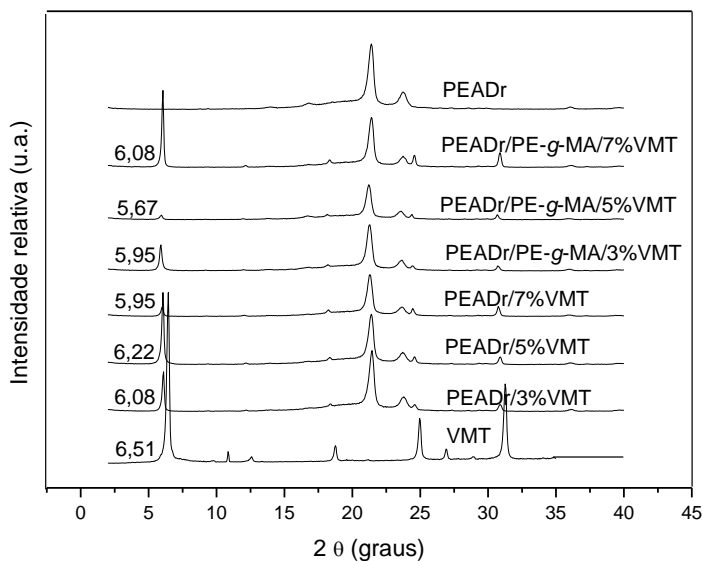


Figura 1. Difratomogramas de raios X da VMT, do PEADr e dos compósitos PEADr/VMT e PEADr/PE-g-MA/VMT.

Os compósitos apresentaram os mesmos picos que o polímero, na extensão de $2\theta = 10-40^\circ$. Contudo, foi observada uma mudança na intensidade das reflexões em relação à matriz polimérica. Essa modificação na natureza cristalográfica do polímero pode ser atribuída à presença da argila (Ellis e D'Angelo, 2003).

Pode-se observar que a adição de vermiculita ao PEADr ocasionou um discreto deslocamento do pico, referente à argila, para menores ângulos. No entanto, este deslocamento pouco pronunciado não é afirmativo de que tenha ocorrido intercalação ou esfoliação da argila no polímero (Oliveira, 2007; Gomes *et al*, 2008).

Os picos característicos correspondem ao plano d_{001} das argilas. O pico característico para o plano (001) da VMT aparece em aproximadamente $6,51^\circ$ e corresponde ao espaçamento basal (d_{001}) de $13,58 \text{ \AA}$. As distâncias interplanares dos cristais no plano hkl para a VMT e para os compósitos de PEADr com a VMT sem e com compatibilizante são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de 2θ e da distância interplanar da VMT e dos compósitos PEADr/VMT sem e com PE-g-MA.

Amostras	2θ (graus)	Distância interplanar (Å)
VMT	6,51	13,58
PEADr/3% VMT	6,08	14,54
PEADr/5% VMT	6,22	14,21
PEADr/7% VMT	5,95	14,85
PEADr/PE-g-MA/3% VMT	5,95	14,85
PEADr/PE-g-MA/5% VMT	5,67	15,59
PEADr/PE-g-MA/7% VMT	6,08	14,54

3.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As Figuras 2 e 3 exibem as fotomicrografias das superfícies de fratura criogênica do PEADr e dos compósitos PEADr/VMT e PEADr/PE-g-MA/VMT em 100 μ m e aumento de 250x e 50 μ m e aumento de 500x, respectivamente.

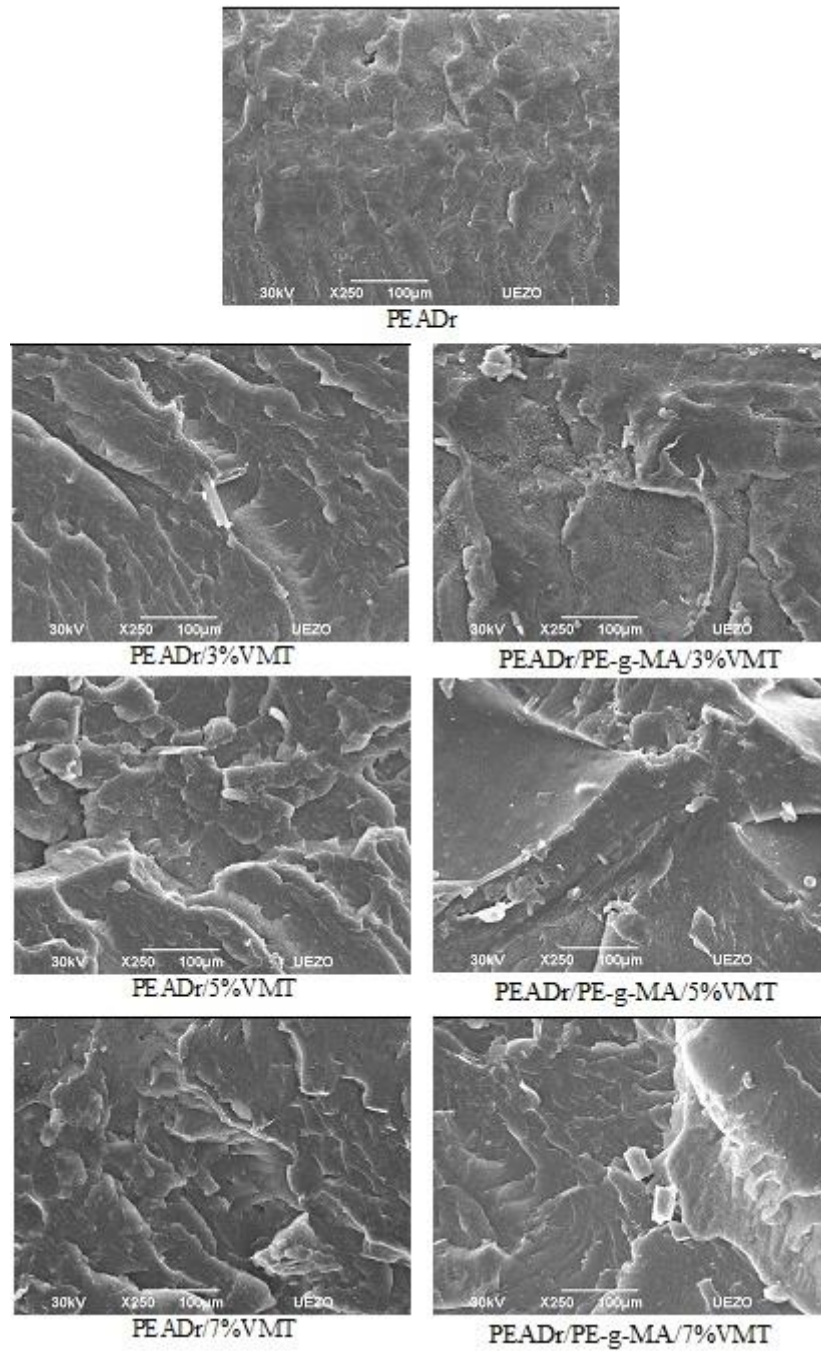


Figura 2. Fotomicrografias de MEV do PEADr e dos compósitos PEADr/VMT e PEADr/PE-g-MA/VMT em 100μm e aumento de 250x.

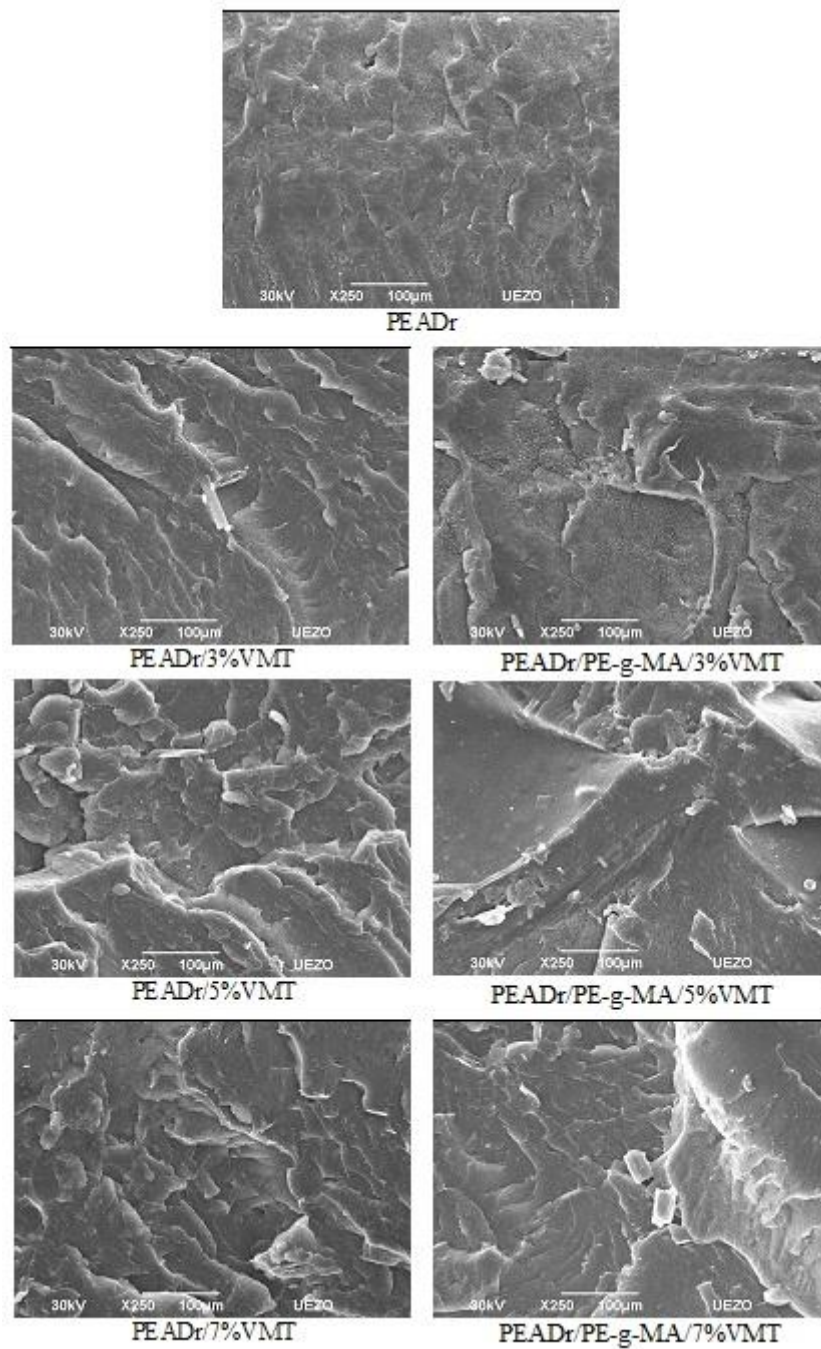


Figura 3. Fotomicrografias de MEV do PEADr e dos compósitos PEADr/VMT e PEADr/PE-g-MA/VMT em 50µm e aumento de 500x.

Nas micrografias apresentadas não foi possível verificar a presença da fase inorgânica (VMT).

Foi observado um aumento na aparência de rugosidade de todos os compósitos com o aumento da quantidade de argila. Resultados semelhantes foram relatados por Sarkaret *al* (2008) em compósitos de polipropileno e 10% m de bentonita indiana.

A adição de PE-g-MA aos compósitos parece diminuir a rugosidade dos mesmos sugerindo uma possível melhoria na interação entre os materiais (Chang, 2015).

3.3. Calorimetria diferencial de varredura (DSC)

A Tabela 3 mostra os dados de temperatura de fusão cristalina (T_m) e do grau de cristalinidade (X_c) obtidos por DSC para o PEADr e para os compósitos PP/VMT na ausência e presença de PE-g-MA.

Tabela 3. Propriedades térmicas do PEADr e dos compósitos sem e com PE-g-MA.

Amostras	T_{m1} (°C)	T_{m2} (°C)	T_{m3} (°C)	X_c (%)
PEADr	114,1	127,5	160,8	35,3
PEADr/3% VMT	114,0	131,2	160,4	42,1
PEADr/5% VMT	112,8	127,5	160,9	31,0
PEADr/7% VMT	112,0	127,2	160,9	27,8
PEADr/PE-g-MA/3% VMT	113,0	127,5	161,0	31,4
PEADr/PE-g-MA/5% VMT	111,6	126,7	160,8	32,3
PEADr/PE-g-MA/7% VMT	113,4	127,4	161,5	30,9

Foi possível verificar a presença de três valores de T_m (T_{m1} , T_{m2} e T_{m3}). A T_m central (T_{m2}) corresponde a T_m do PEAD (Marini, 2008) e as outras duas (T_{m1} e T_{m3}) correspondem possivelmente à presença de impurezas em decorrência da heterogeneidade do material. Segundo a literatura e dados da empresa fornecedora do PEADr, é possível que a T_{m1} possa ser atribuída ao poli[(etileno)-co-(acetato de vinila)] (EVA), polímero esse que é adicionado durante o processamento para aumentar a flexibilidade (Alpire-Chávez, 2007), enquanto que a T_{m3} pode corresponder ao polipropileno - PP (Billmeyer, 1984; Canevarolo, 2004) material esse que pode ser encontrado misturado ao PEADr proveniente de sacolas plásticas descartados no lixo e que é utilizado neste trabalho.

A análise da Tabela permitiu observar que para todos os sistemas não ocorreram mudanças significativas na temperatura de fusão cristalina (T_m).

Nota-se uma tendência de diminuição do grau de cristalinidade dos compósitos sem PE-g-MA com o aumento da quantidade de VMT, indicando que a formação dos cristais possivelmente foi afetada pelo teor de argila. Já os compósitos com PE-g-MA não apresentaram a mesma tendência. Os graus de cristalinidade dos compósitos com 5% de VMT sem compatibilizante e de todos com PE-g-MA se mostraram ligeiramente inferiores ao do polímero

puro. O sistema PEADr/3%VMTapresentou um aumento no X_c (42,1%)mostrando que esse material possui maior grau de ordenação das cadeias poliméricas. Já o compósito com 7% de VMT sem PE-g-MA mostrou uma queda de 21% desta propriedade em relação ao polímero puro.Estes resultados indicam que a formação dos cristais do PEADr foi afetada negativamente pela quantidade de argila presente no compósito, quando em quantidade maior que 5% na ausência de compatibilizante. A adição de maiores teores de VMT ao PEADr na ausência de PE-g-MA parece dificultar a cristalização do polímero (Fitaroni, *et al* 2015; Komatsuet *al*, 2014).

3.4. Análise termogravimétrica (TGA)

As características de estabilidade térmica do polímero e dos compósitos foram analisadas por termogravimetria (TG), visando verificar as possíveis modificações de comportamento ocorridas pela adição da VMT no polímero. De acordo com as curvas de TGA (Figura 4) foi possível verificar que todos os materiais apresentaram um perfil de degradação térmica bastante semelhante, o que demonstra que degradam da mesma forma. É possível observar também que a incorporação da VMT na matriz (PEADr) não resultou em alteração da estabilidade térmica dos compósitos, independente da presença ou ausência do agente compatibilizante (PE-g-MA). Todos os materiais apresentaram temperatura inicial de degradação em torno de 410°C e temperatura máxima de degradação de 477°C.Provavelmente a não intercalação da argila como observada nos resultados de DRX não provocou o efeito de barreira desejado através do material polimérico (Biswalet *al*, 2012; Fitaroniet *al*, 2015).

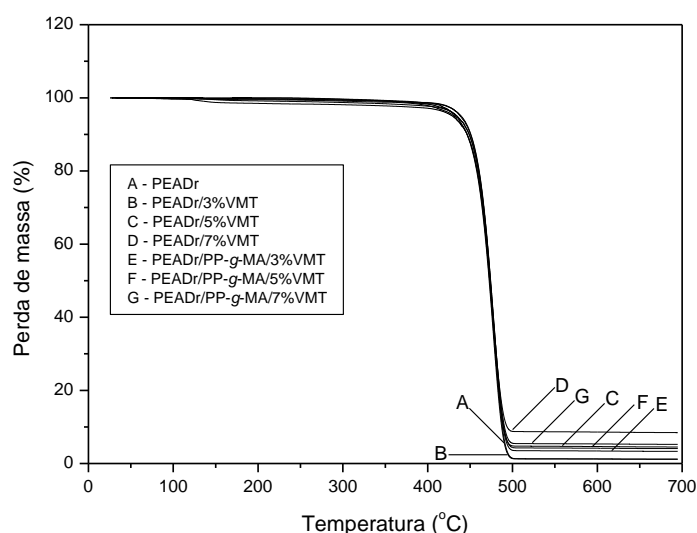


Figura 4.Curvas de TGA para o PEADre compósitos sem e com PE-g-MA.

Chang (Chang,2015) em seu estudo também não observou melhora na estabilidade térmica de compósitos de LDPE/montmorilonita e LDPE-g-MA/montmorilonita com teores de argila acima de 3% em massa.

4. Conclusão

Os compósitos obtidos mostraram aumento da densidade e da dureza e uma redução do índice de fluidez com o aumento da concentração de VMT. A análise de DRX apresentou um deslocamento do pico principal da argila para ângulos menores. Os resultados de MEV revelaram um aumento da rugosidade dos materiais com o aumento do teor da VMT, porém na presença do compatibilizante esta tendência diminuiu, sugerindo a melhoria da interação entre os materiais. No DSC verificou-se a presença de três temperaturas de fusão. A T_m central está relacionada ao PEADr e as outras estão associadas à impurezas como o EVA e o PP. A T_m dos compósitos não sofreu modificação. Somente os materiais com menor e maior teor de argila sem compatibilizante mostraram modificação no X_c quando comparado ao PEADr. Na análise de TGA não foram observadas mudanças na estabilidade térmica dos materiais.

5. Referências

- ALPIRE-CHÁVEZ, M. 2007. *Influência do carbonato de cálcio nas propriedades físicas de espumas de EVA*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.ASTM D792-13: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. In: Annual Book of ASTM, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.ASTM D2240-05:Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. In: Annual Book of ASTM, 2010.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.ASTM D1238-01: Melt flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer. In: Annual Book of ASTM, 2002.
- ASGARI, M., ABOUELMAGD, A. & SUNDARARAJ, U. 2017. Silane functionalization of sodium montmorillonitenanoclay and its effect on rheological and mechanical properties of HDPE/clay nanocomposites.*Applied Clay Science*, 146, 439-448.
- BILLMEYER, FW. 1984. *Textbook of Polymer Science*, New York, Wiley.
- BISWAL, M., MOHANTY S. & NAYAK, S.K. 2012.Thermal stability and flammability of bananafiber-reinforced polypropylene nanocomposites.*JournalofAppliedPolymer Science*, 125, 432-443.
- CANEVAROLO, S.V.JR. 2004. *Técnicas de Caracterização de Polímeros*, São Paulo,Artliber.

- CHANG, M.K. 2015. Mechanical properties and thermal stability of low-density polyethylene grafted maleic anhydride/montmorillonite nanocomposites. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 27, 96–101.
- CHEN, R. S., AHMAD, S. & GAN, S. 2017. Characterization of recycled thermoplastics-based nanocomposites: Polymer-clay compatibility, blending procedure, processing condition, and clay content effects. *Composites Part B*, 131, 91-99.
- COLEMAN, N.J. & CRAIG, D.Q.M. 1996. Modulated temperature differential scanning calorimetry: A novel approach to pharmaceutical thermal analysis. *International Journal of Pharmaceutics*, 135, 13-29.
- ELLIS, T. S. & D'ANGELO, J. S. 2003. Thermal and properties of a polypropylene nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science*, 90, 1639-1647.
- EL-SHEIKHY, R. & AL-SHAMRANI, M. 2017. Interfacial bond assessment of clay-polyolefin nanocomposites CPNC on view of mechanical and fracture properties. *Advanced Powder Technology*, 28, 983–992.
- FITARONI, L. B., LIMA, J. A., CRUZ, S.A. & WALDMAN, W.R. 2015. Thermal stability of polypropylene/montmorillonite clay nanocomposites: Limitation of the thermogravimetric analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 111, 102-108.
- GOMES, E. V. D., VISCONTE, L. L. Y. & PACHECO, E. B. A.V. Morphological, Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene and Vermiculite Blends. 2008. *International Journal of Polymeric Materials*, 57, 957-968.
- KHANAN, P.N. & ALMAADEED, M.A.A. 2015. Processing and characterization of polyethylene based composites. *Advanced Manufacturing: Polymer & Composites Science*, 1, 63-79.
- KOMATSU, L.G.H., OLIANI, W.L., LUGAO, A.B. & PARRA.D.F. 2014. Environmental aging of irradiated polypropylene/montmorillonite nanocomposites obtained in molten state. *Radiation Physics and Chemistry*, 97, 233-238.
- KOTAL, M. & BHOWMICK, A. K. 2015. Polymer nanocomposites from modified clays: Recent advances and challenges. *Progress in Polymer Science*, 51, 127-187.
- LIBORIO, P., OLIVEIRA, V. A. & MARQUES, M. F.V. New chemical treatment of bentonite for the preparation of polypropylene nanocomposites by melt intercalation. 2015. *Applied Clay Science*, 111, 44-49.
- MACEDO, J. R.N., PASSATORE, C. R. & ROSA, D. S. Nanocompósito polimérico de polietileno de baixa densidade reciclado contendo nanoargila. 12º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2013 Florianópolis, Brasil. 1-4.
- MARINI, J. 2008. *Desenvolvimento e caracterização de filmes tubulares de nanocompósitos de PEAD/EVA/argila organofílica*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos.

- OLIVEIRA, I. T. D. 2007. Avaliação mecânica de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) e vermiculita. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- PEIXOTO, L. S. 2012. *Preparação de Compósitos e Nanocompósitos Poliméricos In Situ*. Dissertação de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - Rio de Janeiro.
- SARKAR, M., DANA, K., GHATAK, S. & BANERJEE, A. 2008. Polypropylene-clay composite prepared from indianbentonite. *Bulletin of Materials Science*, 31, 23-28.
- SCARFATO, P., INCARNATO, L., MAIO, L., DITTRICH, B. & SCHARTEL, B. 2016. Influence of a novel organo-silylated clay on the morphology, thermal and burning behavior of low density polyethylene composites. *Composites Part B*, 98, 444-452.
- ZARE, Y. 2013. Recent progress on preparation and properties of nanocomposites from recycled polymers: A review. *Waste Management*, 33, 598–604.
- ZARE, Y. 2016. Effects of imperfect interfacial adhesion between polymer and nanoparticles on the tensile modulus of clay/polymer nanocomposites. *Applied Clay Science*, 129, 65–70.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Faperj), à Peterlu, a Polybond e a Brasil Minérios.