

# BLENDAS DE PA6/PE: INFLUÊNCIA DO PE E DO COMPATIBILIZANTE EMA-GMA NAS PROPRIEDADES REOLÓGICAS E MECÂNICAS<sup>1</sup>

Pankaj Agrawal<sup>2</sup>

Edcleide Maria Araújo<sup>3</sup>

Tomás Jeferson Alves de Melo<sup>3</sup>

## Resumo

Neste trabalho, a influência do tipo de PE e do compatibilizante EMA-GMA nas propriedades reológicas e mecânicas das blendas de PA6/PE foi investigada. Os polietilenos utilizados foram o de baixa densidade (PEBD) e o de alta densidade (PEAD). As blendas foram preparadas em extrusora dupla-rosca contra-rotativa com filetes totalmente interpenetrantes, temperatura de 240°C em todas as zonas e velocidade da rosca de 50 rpm. A composição das blendas foi de 80/20(% em peso) para as blendas binárias de PA6/PE e 80/10/10 (%peso) para as blendas ternárias de PA6/EMA-GMA/PE. As propriedades reológicas foram avaliadas por meio de reometria de torque. Os resultados mostraram que quando o EMA-GMA é adicionado às blendas de PA6/PE há um aumento do torque indicando que houve compatibilização reativa. Este aumento foi muito maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, indicando que há influência do tipo de PE. Os resultados das propriedades mecânicas mostraram que quando o EMA-GMA foi adicionado às blendas de PA6/PE, houve um aumento substancial da resistência ao impacto, confirmando a ocorrência da compatibilização reativa. Assim como na reometria de torque, o aumento foi muito maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, indicando que há influência do tipo de PE nas propriedades mecânicas das blendas compatibilizadas.

**Palavras-chave:** Poliamida 6; Polietileno; Compatibilização reativa; Blendas.

## BLEND OF PA6/PE: INFLUENCE OF POLYETHYLENE AND EMA-GMA COMPATIBILIZER ON THE RHEOLOGICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

### Abstract

In this work, the influence of the polyethylene type and EMA-GMA compatibilizer on the rheological and mechanical properties of PA6/PE blends was investigated. The polyethylenes used were Low Density Polyethylene (LDPE) and High Density Polyethylene (HDPE). The blends were prepared in a counter-rotating intermeshing twin screw extruder, temperature of 240°C in all zones and screw speed of 50 rpm. The composition of the blends was 80/20(wt%) for PA6/PE binary blends and 80/10/10 (wt%) for PA6/EMA-GMA/PE ternary blends. The rheological properties were evaluated through torque rheometry. The results showed that when EMA-GMA is added to PA6/PE blends, there is an increase in the torque, indicating that reactive compatibilization has occurred. This increase was more pronounced for the blend containing LDPE as disperse phase, indicating that there is an influence of the polyethylene type. The mechanical properties results showed that when EMA-GMA was added to PA6/PE blends there was a substantial increase in the impact strength, confirming the occurrence of reactive compatibilization. This increase was more pronounced for the blend containing PEBD as disperse phase, indicating that there is an influence of the polyethylene type on the mechanical properties of the compatibilized blends.

**Key words:** Polyamide 6; Polyethylene; Reactive compatibilization; Blends.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais – PPG-CEMat da UFCG – [pankaj@ig.com.br](mailto:pankaj@ig.com.br);

<sup>3</sup> Departamento de Engenharia de Materiais da UFCG – [edcleide@dema.ufcg.edu.br](mailto:edcleide@dema.ufcg.edu.br), [tomas@dema.ufcg.edu.br](mailto:tomas@dema.ufcg.edu.br), Caixa Postal 10034, 58.109-970 Campina Grande-PB

## INTRODUÇÃO

A Poliamida 6 (PA6) é um termoplástico de engenharia que apresenta excelentes propriedades termo-mecânicas e de barreira ao oxigênio. Entretanto apresenta elevada absorção de umidade e baixa resistência ao impacto a baixas temperaturas e por isso, é comumente misturada ao Polietileno. As blendas de PA6 e Polietileno (PE) combinam as propriedades termo-mecânicas e de barreira da PA6 com o baixo custo, fácil processabilidade, baixa absorção de umidade e elevada resistência ao impacto do PE.<sup>[1-4]</sup> Entretanto estas blendas são imiscíveis devido à incompatibilidade química entre os componentes, e caracterizadas por elevada diferença de tensão interfacial, baixa adesão entre as fases, tamanho médio das partículas da fase dispersa elevado, e morfologia instável, o que leva a baixas propriedades mecânicas. Uma forma de contornar este problema é por meio da compatibilização reativa, onde um compatibilizante, copolímero bem bloco ou enxertado, é adicionado à blenda imiscível, reagindo quimicamente com uma das fases e interagindo fisicamente com a outra, formando um copolímero enxertado *in-situ* na interface.<sup>[5-8]</sup> Na literatura, diversos compatibilizantes tem sido utilizados para as blendas de PA6/PE. Armat & Moet<sup>[9]</sup> estudaram a morfologia e propriedades mecânicas das blendas de PE/PA6 compatibilizadas com o anidrido maléico funcionalizado com o copolímero em bloco de estireno-(etileno-co-butileno)-estireno (MA/SEBS). Segundo os autores, o compatibilizante exerce uma dupla função. Por um lado ele reduz a tensão interfacial do sistema, resultando em uma redução do tamanho das partículas da fase dispersa (PE). Por outro lado o compatibilizante melhora a adesão interfacial através da formação de micro-pontes. Em concentrações de MA/SEBS maiores que 10%, houve um decréscimo considerável na ductilidade das blendas. Halldém, Deriss e Wesslén<sup>[10]</sup> estudaram a morfologia das blendas de polietileno linear de baixa densidade e poliamida 6. O compatibilizante utilizado foi o polietileno enxertado com oxido de etileno (PE-PEO2000, PE-PEO750) com diferentes pesos moleculares. As blendas foram preparadas em um misturador fechado do tipo Brabender usando uma câmara de mistura W50E. O estudo da morfologia foi realizado por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) Os resultados indicaram que a adição de PE-PEO2000 à blenda de PE/PA6 reduziu o tamanho dos domínios da fase dispersa e melhorou consideravelmente a adesão entre as fases. Já o efeito do compatibilizante PE-PEO 750 foi insignificante. Filippi et al.<sup>[11]</sup> estudaram blendas de PEBD e PA6 compatibilizadas com copolímeros de etileno-ácido acrílico contendo 6,2 e 11 (%peso) de ácido acrílico. As blendas binárias e ternárias foram preparadas em um misturador do tipo Brabender, a 240°C e 60 rpm por 4 minutos. Os resultados mostraram que os copolímeros de etileno-ácido acrílico foram compatibilizantes eficazes para as blendas de PEBD e PA6, melhorando a adesão interfacial, reduzindo o tamanho da fase dispersa e a coalescência. O objetivo deste trabalho é investigar a influência do tipo de PE e do compatibilizante EMA-GMA nas propriedades reológicas e mecânicas das blendas de PA6 e PE.

## MATERIAIS

A Poliamida 6 C216 Natural(PA6) foi fornecida pela Rhodia. Os Polietilenos de baixa densidade (PEBD) PB 208 (IF=22g/10min) e de alta densidade (PEAD) JV060U (IF=7g/10min), foram fornecidos pela Braskem. O terpolímero de Etileno- Metil Acrilato – Metacrilato de Glicidila (EMA-GMA) IF = 6g/10min, contendo 25 % de Éster e 8% de GMA, Lotader AX 8900, foi fornecido pela Arkema.

## **MÉTODOS**

### **Secagem da PA6**

Antes de cada processo, a PA6 foi seca sob vácuo a 80°C por 24 horas.

### **Preparação das Blendas**

As blendas foram preparadas em uma extrusora dupla-rosca contra-rotativa com filetes interpenetrantes, temperatura de 240°C em todas as zonas e velocidade da rosca de 50 rpm. A composição das Blendas foi de 80/20 (% em peso) para as blendas binárias de PA6/PE e 80/10/10 (% em peso) para as blendas ternárias de PA6/EMA-GMA/PE.

### **Propriedades Reológicas**

As propriedades reológicas foram avaliadas por meio de reometria de torque. As blendas foram preparadas em um misturador interno Rheomix 600, acoplado a um Haake System 90 e equipado com rotores do tipo roller, a 240°C e 50 rpm durante 20 minutos sob atmosfera de ar. A massa total das amostras foi de 50g. A composição das blendas foi de 80/20(% em peso) para as blendas binárias de PA6/PE e 80/10/10 (% em peso) para as blendas ternárias de PA6/EMA-GMA/PE.

### **Preparação das Amostras**

As amostras para os ensaios de resistência à tração e ao impacto foram preparadas por Injeção a 240°C, utilizando-se uma máquina FLUIDMEC H3040.

### **Propriedades Mecânicas**

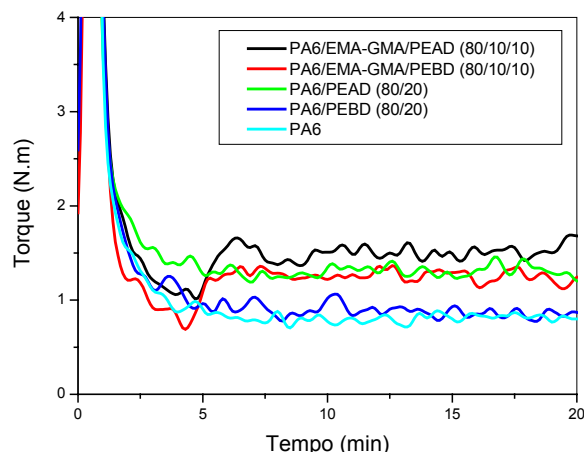
Os ensaios de resistência à tração foram realizados em um máquina LR 10K da LLOYD Instruments, operando a uma velocidade de 50mm/min de acordo com a norma ASTM D 638. Os ensaios de resistência ao impacto Izod foram realizados em amostras com entalhe de 1,5 mm utilizando-se um equipamento do tipo RESIL 5,5 da CEAST, contendo um pêndulo equipado com um martelo de 2,75J, de acordo com a norma ASTM D 256. As amostras foram entalhadas em um entalhador NOTSCH VIS da CEAST. Os dados dos ensaios mecânicos foram obtidos a partir de uma média de 10 amostras.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Propriedades Reológicas**

As propriedades reológicas das blendas foram avaliadas por meio de reometria de torque. A Figura 1 mostra as curvas de torque em função do tempo das blendas binárias de PA6/PE e ternárias de PA6/EMA-GMA/PE. O EMA-GMA foi adicionado às blendas de PA6/PE após 5 minutos, quando a PA6 e o PE já haviam fundido. Observa-se que o torque da blenda de PA6/PEAD é maior que o da blenda de PA6/PEBD, o que já era esperado, pois o PEAD possui um índice de fluidez menor, e conseqüentemente maior viscosidade. Quando o compatibilizante EMA-

GMA foi adicionado às blendas de PA6/PE houve um aumento no torque, indicando que houve compatibilização reativa. De acordo com Koulouri, Georgaki e Kallitsis,<sup>[12]</sup> Chiono et al.<sup>[13]</sup> e Bassani et al.,<sup>[14]</sup> o grupo epóxi presente no GMA pode reagir tanto com os grupos terminais amina quanto com os grupos carboxila da PA6, formando um copolímero enxertado *in-situ* na interface. Observa-se também que o aumento no torque foi muito maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, indicando que há a influência do tipo de PE.



**Figura 1:** Curvas de torque em função do tempo das blendas binárias de PA6/PE e ternárias de PA6/EMA-GMA/PE.

## Propriedades Mecânicas

A Tabela 1 mostra as propriedades mecânicas das blendas binárias de PA6/PE e ternárias de PA6/EMA-GMA/PE. Observa-se que o módulo da blenda de PA6/PEAD foi maior que o da blenda de PA6/PEBD, o que já era esperado, pois o PEAD possui um maior grau de cristalinidade, e conseqüentemente maior rigidez. O módulo das blendas PA6/PE foi maior que o das blendas de PA6/EMA-GMA/PE. Isto ocorreu porque o EMA-GMA é mais flexível que o PEBD e o PEAD. A resistência à tração das blendas de PA6/EMA-GMA/PE foi maior que a das blendas de PA6/PE. Observa-se também que quando o EMA-GMA foi adicionado às blendas de PA6/PE, houve um aumento substancial da resistência ao impacto, o que confirma a ocorrência da compatibilização reativa. Assim como o torque (Figura 1), o aumento da resistência ao impacto foi muito maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, indicando que há influência do tipo de PE nas propriedades mecânicas das blendas compatibilizadas.

**Tabela 1:** Propriedades Mecânicas das blendas binárias de PA6/PE e PA6/EMA-GMA/PE

| Amostra          | E (Gpa)     | RT (MPa)     | RI (J/m)       |
|------------------|-------------|--------------|----------------|
| PA6              | 1,78 ± 0,10 | 42,93 ± 2,20 | 72,97 ± 5,38   |
| PA6/PEBD         | 0,96 ± 0,10 | 30,27 ± 1,91 | 66,65 ± 3,71   |
| PA6/PEAD         | 1,48 ± 0,13 | 34,92 ± 1,73 | 77,52 ± 8,71   |
| PA6/EMA-GMA/PEBD | 0,89 ± 0,08 | 35,92 ± 1,50 | 312,70 ± 14,52 |
| PA6/EMA-GMA/PEAD | 0,78 ± 0,05 | 38,17 ± 2,73 | 170,33 ± 17,38 |

E=Módulo Elástico; RT=Resistência à Tração; RI = Resistência ao Impacto

## CONCLUSÃO

A adição do compatibilizante EMA-GMA às blendas de PA6/PE resultou em um aumento do torque, indicando que houve compatibilização reativa. Este aumento foi maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, o que indica que houve influência do tipo de PE. A adição do EMA-GMA às blendas de PA6/PE também resultou em um aumento significativo da resistência ao impacto, o que confirmou a ocorrência da compatibilização reativa. Assim como o torque, este aumento foi muito maior para a blenda contendo o PEBD como fase dispersa, o que mostra que há influência do tipo de PE nas propriedades mecânicas das blendas compatibilizadas.

## Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Rhodia pelo fornecimento da PA6, a Braskem pelo fornecimento do PE, a Arkema pelo fornecimento do EMA-GMA, e ao CNPq pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

- 1 ARAÚJO, E. M., Jr., E.H, CARVALHO, A. J. F. Compatibilização de Blendas de Poliamida 6/ABS usando os Copolímeros Acrílicos Reativos MMA-GMA e MMA-MA. Parte 1: Comportamento Reológico e Propriedades Mecânicas das Blendas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 3, p. 205-211, 2003.
- 2 JIANG, C., FILIPPI, S., MAGAGNINI, P. Reactive compatibilizer precursors for LDPE/PA6 blends. II: maleic anhydride grafted polyethylenes. **Polymer**, v. 44, p. 2411-2422, 2003.
- 3 LAHOR, A., NITHITANAKUL, M., GRADY, B. P. Blends of low-density polyethylene with nylon compatibilized with a sodium-neutralized carboxylate ionomer. **European Polymer Journal**, v. 40, p. 2409-2420, 2004.
- 4 VALENZA, A., GEUSKENS, G., SPADARO, G. Blends of Polyamide 6 and Linear Low Density Polyethylene Functionalized with Methacrylic Acid Derivatives. **European Polymer Journal**, v. 33, n. 6, p. 957-962, 1997.
- 5 KUDVA, R. A., KESKKULA, H., PAUL, D. R. Morphology and mechanical properties of compatibilized nylon 6/polyethylene blends. **Polymer**, v.40, p. 6003-6021, 1999.
- 6 KELAR, K., JURKOWSKI, B., Preparation of low-density polyethylene by reactive extrusion and its blend with polyamide 6. **Polymer**, v. 41, p.1055-1062, 2000.
- 7 HARRATS, C., FAYT, R., JÉRÔME, R. Synthesis and compatibility of hydrogenated polybutadiene-b-polyamide 6 diblock copolymer in low density polyethylene and polyamide 6 blends. **Polymer**, v. 43, p. 5347-5354, 2002.
- 8 FELLAHI, S., FAVIS, B. D., FISA, B. Morphological Stability in injection molded high density polyethylene/polyamide 6 blends. **Polymer**, v. 37, n. 13, 2615-2626, 1996.
- 9 ARMAT, R. & MOET, A. Morphological Origin of Toughness in Polyethylene-Nylon 6 Blends. **Polymer**, v. 34, p. 977-985, 1993.
- 10 HALLDÉN, A. DERISS, M. J., WESSLÉN, B. Morphology of LDPE/PA6 blends compatibilized with poly(ethylene-graft-ethylene oxide)s. **Polymer**, v. 42, p. 8743-8751, 2001.

- 11 FILLIPI, S., CHIONO, V., POLACCO, G., PACI, M., MINKOVA, L. I., MAGAGNINI, P. Reactive Compatibilizer Precursors for LDPE/PA6 blends: I - Ethylene Acrylic Acid Copolymers. **Macromolecular Chemistry and Physics**, v. 203, p. 1512-1525, 2002.
- 12 KOULOURI, E. G., GEORGAKI, A. X., KALLITSIS, J. K., Reactive Compatibilization of Aliphatic Polyamides With Functionalized Polyethylenes. **Polymer**, v. 38, p. 4185-4192, 1997.
- 13 CHIONO, V., FILIPPI, S., YORDANOV, H., MINKOVA, L., MAGAGNINI, P. Reactive compatibilizer precursors for LDPE/PA6 blends. III: ethylene glycidyl-methacrylate copolymer. **Polymer**, v. 44, p. 2423-2432, 2003.
- 14 BASSANI, A., Jr. E. H., PERSAN, L. A., MACHADO, A. V., COVAS, J.A., Evolução da Morfologia de Fases de Blendas PA6/AES em Extrusora de Dupla Rosca e Moldagem por Injeção. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. 176-185, 2005.