

BLENDAS POLIMÉRICAS: CONCEITOS, OBTENÇÃO E APLICAÇÕES

Divânia Ferreira da Silva (UFCG) divaniaf@yahoo.com.br
Carlos Bruno Barreto Luna (UFCG) brunobarretodemaufcg@hotmail.com
Edcleide Maria Araújo (UFCG) edcleide.araujo@ufcg.edu.br
Adriano Lima da Silva (UFCG) adrianolimadasilva@hotmail.com

Resumo: A indústria de polímeros constitui um dos pilares fundamentais da vida contemporânea. A grande quantidade de bens que nos cercam, produzidos de material polimérico, são praticamente encontrados em quase todas as áreas das atividades humanas, principalmente nas indústrias automobilísticas, de embalagens, de revestimentos e de vestuário. Devido à utilização dos polímeros em diversas áreas e a necessidade do desenvolvimento de novos materiais poliméricos aperfeiçoados, diversas pesquisas foram realizadas para obter novos polímeros sem necessidade de modificações nas condições operacionais dos reatores de polimerização. Neste contexto, as blendas surgiram como sendo uma mistura física de dois polímeros, cujo objetivo principal é o ganho de propriedades, comparado aos materiais puros já existentes. As blendas poliméricas se destacam pela relação custo/benefício. Além disso, suas propriedades físicas e químicas podem ser alteradas para uma ampla faixa de aplicações, proporcionando desempenho desejável para o produto final. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo evidenciar a tecnologia das blendas poliméricas, bem como, os seus fundamentos teóricos, métodos de obtenção e aplicações práticas do dia a dia.

Palavras-chave: Blendas poliméricas, conceitos, obtenção, aplicações.

BLENDAS POLYMER: CONCEPTS, OBTAINING AND APPLICATIONS

Abstract: The polymer industry constitutes one of the fundamental pillars of contemporary life. The large amount of property around us, made of polymeric material, are practically found in almost all areas of human activities, particularly in the automobile, packaging, coatings and clothing industries. Due to the use of polymers in different areas and the need for development of new improved polymeric, several researches were conducted to obtain new polymers without requiring changes in the operating conditions of the polymerization reactors. In this context, the blends emerged as a physical mixture of two or more different polymers, whose main purpose is the gain of properties compared to existing pure materials. The polymer blends stand out for their cost-benefit ratio. In addition, their physical and chemical properties may have be changed to a wide range of applications, providing desirable performance to the final product. Therefore, this paper aims to demonstrate the technology of polymer blends, and its theoretical foundations, obtaining methods and practical applications of everyday life.

Keywords: Polymer blends, concept, obtaining, applications.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de desenvolver novos materiais, buscando atender uma demanda de mercado de produtos com propriedades diferenciadas em relação aos tradicionais para aplicações cada vez mais específicas (SILVA et al., 2014). Devido ao baixo custo e boa processabilidade, os polímeros têm espaço garantido no desenvolvimento de novos materiais para aplicações inovadoras (JÚNIOR, 2006).

Os polímeros são materiais orgânicos ou inorgânicos, naturais ou sintéticos, de alto peso molecular, cuja estrutura consiste na repetição de pequenas unidades chamadas meros, que compõem as macromoléculas (AKAY, 2012; LUNA et al., 2015a). Muitas vezes, é desejável modificar alguma das características apresentadas pelos polímeros, para que este possua propriedades específicas para uma determinada aplicação no mercado. Sendo assim, uma alternativa possível para modificação dessas propriedades seria durante a polimerização, alterar a estrutura molecular do polímero. Além disso, é possível modificar as propriedades dos polímeros em maior grau inserindo-se um ou mais monômeros na cadeia principal, formando os copolímeros (ABREU, 2004).

A polimerização simultânea de dois ou mais monômeros constitui o processo chamado de copolimerização, ou seja, a formação de copolímeros. Quando dois ou mais monômeros são combinados em um único meio reacional, as unidades de cada um desses monômeros se ligam de forma a constituir uma só cadeia (YILMAZ, 2013). As propriedades dos copolímeros dependem da natureza dos monômeros constituintes, da proporção entre eles e da forma da distribuição dos meros. Além da copolimerização, outra forma de modificar as propriedades de sistemas poliméricos é a mistura física de mais de um polímero (blenda polimérica). Essa forma é mais econômica que a copolimerização, a qual requer ajuste das condições operacionais do reator de polimerização para cada razão entre os monômeros, já que a cinética e a troca de calor mudam para cada composição (AKCELRUD, 2007).

SIQUEIRA et al., (1993) reportaram que a mistura de polímeros possibilita a obtenção de novos materiais com propriedades muitas vezes superiores às dos componentes puros. Além disso, viabiliza a comercialização de polímeros com menor custo, bem como é possível aproveitar a tecnologia de produção dos polímeros puros, sem envolver a síntese de um novo polímero.

É de grande importância o desenvolvimento de blendas poliméricas, portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos das blendas poliméricas, bem como, os métodos de obtenção e as aplicações práticas dessa tecnologia de polímero.

2. FUNDAMENTO DAS BLENDS POLIMÉRICAS

2.1. Conceitos Básicos de Blenda Polimérica

O termo blenda polimérica é utilizado para descrever a mistura física de dois ou mais polímeros, sem reação química intencional entre os componentes (LUNA et al., 2015c). A interação molecular entre as cadeias poliméricas é predominantemente do tipo secundária (BARLOW & PAUL, 1981).

As misturas poliméricas começaram a ser desenvolvidas a partir do ano 1960. Até então, a indústria privilegiava a busca de novos polímeros para responder a demanda da população. Entretanto, a viabilização comercial de novos polímeros começou a se tornar cada vez mais difícil. A opção pelas misturas permite na verdade encurtar o tempo de desenvolvimento de novos materiais. A síntese de um novo polímero e o seu desenvolvimento comercial exigem frequentemente muitos anos, enquanto uma nova mistura pode ser desenvolvida com um tempo médio bem inferior ao desenvolvimento de um novo polímero (ROBESON, 2007). Uma segunda vantagem reside na possibilidade de dispensar a construção de novas instalações de polimerização, uma vez que as misturas são obtidas por técnicas de “compounding” a partir de polímeros já existentes. Torna-se assim uma estratégia interessante do ponto de vista do custo dos produtos (LIU, 2013). Além disso, a combinação de polímeros permite uma adequação mais fina do material às condições específicas de utilização. É possível obter uma gama específica de propriedades, partindo das características individuais dos componentes (KIM & BURNS, 1987). Portanto, existem várias razões para a utilização de blendas poliméricas:

- Melhora de propriedades;
- Melhora de processabilidade;
- Promover melhor estabilidade dimensional;
- Melhorar a resistência à chama;
- Possibilidade de reaproveitamento de resíduos de polímeros;
- Reduzir custo do produto;
- Ajustar a composição da blenda às necessidades do produto final (BIZI, 2007).

A grande atenção dada às blendas poliméricas em relação ao setor industrial/comercial é devido à relativa facilidade na obtenção de materiais com propriedades desejadas, sem altos investimentos aplicados no desenvolvimento da síntese de novos polímeros (DESIDERÁ, 2007). Dessa maneira, as blendas poliméricas são uma versátil solução tecnológica para se obter materiais poliméricos com as mais diversas especificações a um custo relativamente baixo por meio de combinações de polímeros com as propriedades de interesse (KOOI & HASHI, 2011).

As blendas poliméricas constituem a melhor resposta tecnológica para gerar "novos" polímeros comerciais de alto desempenho, a partir de polímeros disponíveis comercialmente e é alternativa para a obtenção de materiais poliméricos com propriedades que, em geral, não são encontradas em um único material (YU et al., 2006).

2.2. Métodos de Obtenção de Blendas Poliméricas

Uma classificação de blendas poliméricas pode ser feita por meio dos métodos de obtenção. Os principais métodos de preparação de blendas são: mistura por solução, por redes poliméricas interpenetrantes (IPN) e por mistura mecânica no estado fundido.

Mistura em Solução

As blendas por solução são obtidas por meio da preparação de soluções individuais de cada polímero em um solvente comum, com posterior mistura das soluções nas proporções desejadas (Figura 1). O aquecimento pode ser utilizado para aumentar o grau de solubilidade dos componentes individuais ou da mistura. A etapa mais importante é a evaporação do solvente, que normalmente é feita por meio da formação de um filme e posterior evaporação à temperatura ambiente, em estufa ou sob vácuo. Esse tipo de blenda é de baixa produtividade e geralmente são desenvolvidas em laboratório (PASSADOR et al., 2006).

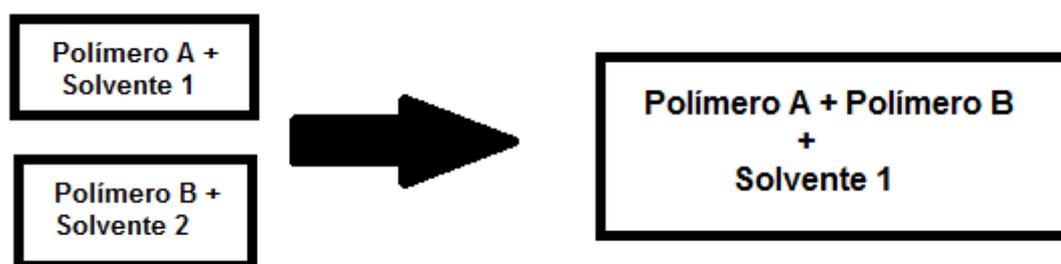


Figura 1. Esquema do método de obtenção de blendas por solução.

Mistura Mecânica

As blendas por mistura mecânica no estado fundido ou *melt blending* são obtidas pela mistura dos componentes poliméricos em seu estado fundido ou amolecido. A mistura mecânica envolve aquecimento e alto cisalhamento e é o método mais utilizado industrialmente por razões econômicas e porque permite a mistura de polímeros em grande escala (PASSADOR et al., 2006). A Figura 2 ilustra o processo de mistura mecânica, onde verifica-se o processo de extrusão e injeção.

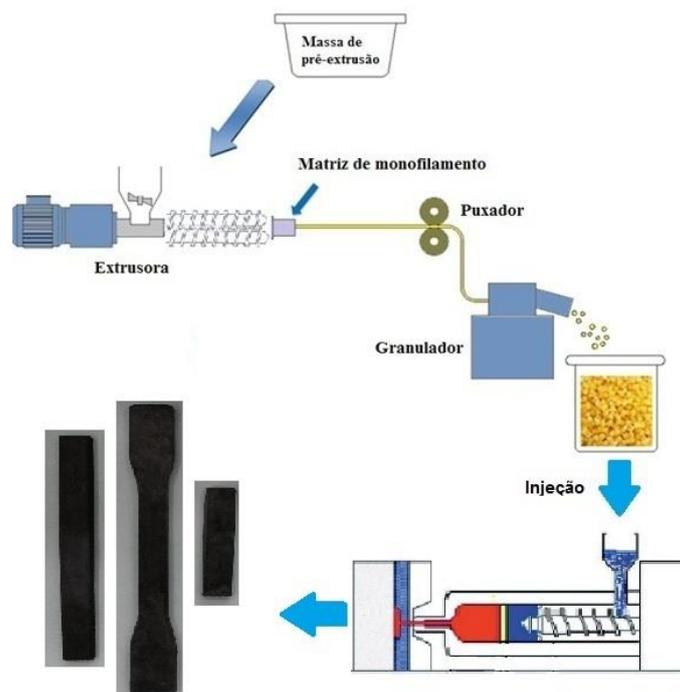


Figura 2. Esquema do processo de extrusão e injeção e o perfil da rosca utilizado na extrusora de rosca dupla corrotacional. Fonte: (Adaptado de FLEMING et al. 2012)

Redes Poliméricas Interpenetrantes (IPN)

Redes poliméricas interpenetrantes são misturas poliméricas, nas quais pelo menos um dos componentes apresenta uma estrutura de ligações cruzadas ou reticuladas. Estas blends foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar o grau de compatibilidade de polímeros previamente misturados por solução ou mecanicamente. Controlando a cinética da separação de fases durante a formação de IPN é possível obter as propriedades desejadas. A principal desvantagem das IPN's é a sua dificuldade de reciclagem. Existem dois tipos de IPN: o IPN completo em que os dois polímeros apresentam estruturas com ligações cruzadas e o semi-IPN, onde uma molécula de termoplástico é misturada com uma molécula reticulada. O IPN completo pode ser obtido pelos seguintes métodos: IPN sequencial, IPN simultâneo, reticulado elastomérico interpenetrante e IPN látex (CIVIERO, 2006). A Figura 3 ilustra redes poliméricas interpenetrantes semi-IPN e IPN.

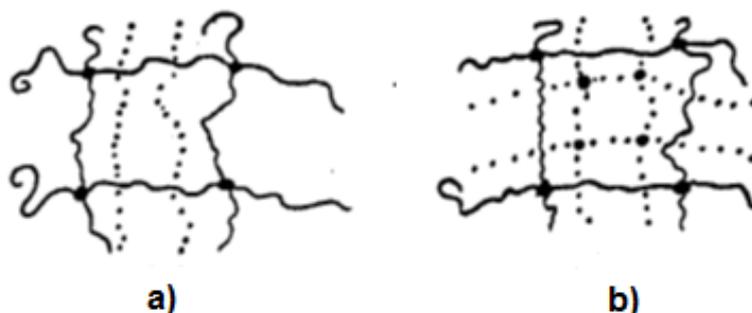


Figura 3. Redes poliméricas interpenetrantes: a) semi-IPN; b) IPN. Fonte: (PAUL et al., 1988).

2.3. Termodinâmica de Blendas Poliméricas

As blendas poliméricas podem ser miscíveis, parcialmente miscíveis e imiscíveis. A miscibilidade das blendas é uma característica termodinâmica que duas macromoléculas podem ter quando a mistura chega ao nível molecular (IMRE et al., 2014). Os termos miscibilidade e compatibilidade nas blendas poliméricas são muito confundidos na literatura. Os termos miscível e imiscível referem-se, portanto, as propriedades intrínsecas do par polimérico, formando sistemas homogêneos ou não, enquanto os termos compatível e incompatível referem-se às características de desempenho do material, não importando sua morfologia. A compatibilidade pode ser modificada, a miscibilidade não, porque é uma propriedade termodinâmica intrínseca do sistema (AKCELRUD, 2007; JÚNIOR, 2006).

O fator fundamental, no que se refere à miscibilidade, é de natureza termodinâmica, governada pela variação da energia livre de Gibbs da mistura, ΔG_m , que é dada por:

$$\Delta G_m = \Delta H_m - T\Delta S_m \quad (1)$$

Onde: ΔH_m = variação molar da entalpia de mistura; ΔS_m = variação molar da entropia de mistura; T = temperatura absoluta.

A equação 1 permite três possibilidades aos sistemas poliméricos:

- $\Delta G_m > 0$, mistura imiscível e os polímeros estarão presentes em fases separadas.
- $\Delta G_m = 0$, o sistema está em equilíbrio.
- $\Delta G_m < 0$, mistura miscível e os polímeros estarão presentes em fases únicas (ZHIKUAN, 1987).

Para miscibilidade completa ocorrer, $\Delta G_m < 0$. Esta é uma condição necessária, porém não é suficiente. Por isso, a derivada segunda em relação à fração volumétrica do segundo componente (ϕ_2) deverá ser maior que zero (Equação 2), em todas as composições (AKCELRUD, 2007):

$$\left(\frac{\partial^2 \Delta G_m}{\partial \phi_2^2}\right)_{T,p} > 0 \quad (2)$$

Na Equação 1 de Energia Livre de Gibbs, verifica-se que o segundo termo ($T\Delta S$) é sempre positivo porque a temperatura absoluta é sempre positiva e a variação da entropia do sistema também, pois a tendência de um processo de mistura é sempre o aumento da desordem ou seja, aumento da entropia. Como o termo entrópico é unicamente devido ao diferente número de combinações que as moléculas podem se arranjar no reticulado e sendo os polímeros espécies de alta massa molar, o número de maneiras com o qual podemos arranjar as moléculas dos polímeros fica reduzido. Assim, o valor de ΔS_m é muito pequeno e a temperatura não pode ser muito elevada para não haver degradação dos materiais poliméricos. Portanto, o sinal da variação molar da energia livre do sistema (ΔG_m) depende acentuadamente do sinal da variação molar da entalpia do sistema (ΔH_m) (FIEGENBAUM, 2007). Portanto, tem-se dois casos para o ΔH_m :

1º) Quando $\Delta H_m < 0$, temos uma condição na qual as moléculas de um tipo (polímero A) preferem a vizinhança de moléculas de outro tipo (polímero B). Neste caso, têm-se soluções miscíveis, pois a energia livre de Gibbs será negativa. O valor de ΔH_m é negativo somente quando ocorrem interações intermoleculares específicas entre os polímeros (FIEGENBAUM, 2007).

2º) Quando $\Delta H_m > 0$, os polímeros não têm interações específicas, a condição é que as moléculas de um tipo (polímero A) preferem uma vizinhança de molécula do mesmo tipo (polímero A). Neste caso, as soluções podem ser tanto miscíveis quanto imiscíveis, dependendo das magnitudes dos termos entálpicos e entrópicos e da temperatura do sistema. Por exemplo, num sistema onde é exigida uma energia muito alta para quebrar ligações entre moléculas similares para formar ligações entre moléculas não similares, o valor de ΔH_m é muito grande e positivo. Assim, em baixas temperaturas o termo entálpico deve prevalecer, gerando misturas imiscíveis. Ao contrário, em altas temperaturas e com componentes de baixa massa molar, o termo entrópico pode prevalecer, gerando misturas miscíveis (FIEGENBAUM, 2007).

Um esquema da representação das três possibilidades de dependência dos valores de ΔG_m em relação à concentração de composição de dois diferentes componentes (A_1 e B_1) pode ser visualizado na Figura 4, no qual a miscibilidade do sistema está associada às propriedades adquiridas com a mistura de dois polímeros. Como pode ser verificado na região I, apresenta imiscibilidade total dos componentes ($\Delta G_m > 0$). Na região II, a curva ilustra o caso intermediário, formação de blendas parcialmente miscíveis, em que a mistura se separa em duas fases nas composições A_1 e B_1 , que correspondem aos pontos situados na tangente comum da curva de energia livre de Gibbs. A linha que ilustra a região III representa composições com miscibilidade total entre os componentes (RICHART, 2013).

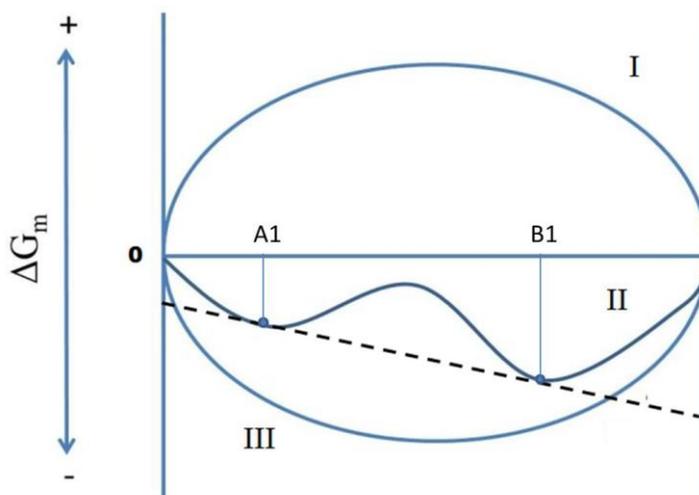


Figura 4. Representação das possibilidades de formação de blendas em relação à energia livre de mistura: (I) região de imiscibilidade; (II) região de miscibilidade parcial e (III) região de miscibilidade total. Fonte: (RICHART, 2013)

A teoria de base para a avaliação da miscibilidade de misturas de polímeros foi desenvolvido por Flory-Huggins (KONINGSVELD, 1994). A equação da energia livre (ΔG_m) de Flory-Huggins pode ser escrita sob a forma:

$$\Delta G_m = \left(\frac{RTV}{V_R}\right) \left[\left(\frac{\phi_1}{X_1}\right) \ln \phi_1 + \left(\frac{\phi_2}{X_2}\right) \ln \phi_2 + \chi_{12} \phi_1 \phi_2 \right] \quad (3)$$

Onde: R = constante dos gases; V = volume da blenda; T = temperatura absoluta; V_R = volume de referência (usualmente o volume molar da menor unidade repetitiva); ϕ_1 e ϕ_2 =

fração volumétrica do polímero 1 e 2; X_1 e X_2 = grau de polimerização do polímero 1 e 2; χ_{12} = parâmetro de interação de Flory-Huggins da mistura dos polímeros 1 e 2.

A equação 3 ilustra que o aumento da massa molar direciona o sistema para maior imiscibilidade (KONINGSVELD, 1994).

2.4. Agentes Compatibilizantes

A maioria das blendas é imiscíveis, caracterizadas por apresentarem uma morfologia com separação de fase, e são ditas heterogêneas (GOMES et al., 1992). As blendas poliméricas imiscíveis apresentam alta tensão interfacial e fraca adesão entre as fases, resultando em baixas propriedades. Para contornar isso, uma série de compostos denominados de agentes compatibilizantes é utilizado (PICHAIYUT et al., 2008; LUNA et al., 2014b).

O agente compatibilizante é uma espécie que torna a mistura polimérica menos incompatível, e não uma espécie que leva à formação de mistura molecularmente homogênea. Atua na interface das duas fases imiscíveis como surfactante polimérico, reduzindo a tensão interfacial e promovendo a adesão entre as fases dos polímeros (GONELLA, 2001). Os compatibilizantes têm como requisito fundamental, apresentar interações específicas e/ou reações químicas com as fases dos constituintes presentes na blenda. Geralmente, os compatibilizantes mais utilizados são:

- Copolímeros (em bloco, alternado ou enxertado - com ou sem grupos reativos);
- Polímeros funcionalizados (formação de copolímero *in situ*) ou com grupos que possuam atração eletrostática.

Existem basicamente três métodos para compatibilizar blendas poliméricas imiscíveis:

- 1) Compatibilização não-reativa → adição de copolímeros em bloco ou enxertados não-reativos;
- 2) Compatibilização específica → ligar as cadeias do polímero a grupos que contenham interações específicas;
- 3) Compatibilização reativa → introduzir moléculas reativas capazes de formar copolímeros desejados *in situ* durante a mistura.

Um agente compatibilizante efetivo modifica a morfologia e a adesão interfacial nas blendas poliméricas por:

- Reduzir tensão interfacial;
- Promover dispersão;
- Melhorar estabilidade morfológica;
- Aumentar adesão interfacial;
- Aumentar a condutividade térmica interfacial (ANH & KHANH, 2001).

A Tabela 1 apresenta algumas blendas e os respectivos agentes compatibilizantes não-reativos e reativos.

Tabela 1. Blendas e os respectivos agentes compatibilizantes não-reativos e reativos.

Blendas Não-Reativas			Blendas Reativas		
Polímero A	Polímero B	Compatibilizante	Polímero A	Polímero B	Compatibilizante
HIPS	PP	SEBS	PA6	ABS	MMA-g-MA
PP	PS	SBS	PP	PET	PP-g-AA
PEBD	PS	SEBD	PA6	SEBS	SEBS-g-AA
OS	SBR	SBS	PP	PA6	PP-g-AA
PE	PS	PE-g-PS	PE	PA6	EPDM-g-MA

2.5. Mecanismos de Tenacificação

A resistência ao impacto é uma das propriedades mecânicas mais importantes na decisão de seleção de materiais, haja vista o grande número de aplicações práticas sujeitas a solicitações desta ordem (GUO et al., 2007; LUNA et al., 2015d). Uma séria limitação de muitos polímeros, especialmente os chamados vítreos (frágeis), é a baixa resistência ao impacto, notadamente em temperaturas abaixo da ambiente (LUNA et al., 2014c). Uma opção para melhorar a resistência ao impacto dos polímeros frágeis é a utilização de modificadores de impacto, por meio dos seguintes métodos:

- Adição de partículas de borracha por meio de mistura mecânica;
- Polimerização do polímero vítreo na presença do componente elastomérico, obtendo-se um copolímero do tipo enxertado (grafting). Neste tipo de reação, o grau de enxertia é normalmente baixo (RABELLO, 2000).

Os modificadores de impacto, portanto, são partículas de borracha e apresentam uma baixa miscibilidade com o polímero. Acredita-se que as partículas de borracha absorvem apenas 10% da energia total absorvida pelo material tenacificado. A presença de borracha, de fato, possibilita a ocorrência de mecanismos de deformação, cujas principais formas são:

- Microfibrilamento (Crazing);
- Escoamento por Cisalhamento (RABELLO, 2000).

A presença de uma segunda fase tenacificadora em uma matriz vítrea pode modificar significativamente o seu comportamento tensão x deformação, levando à ocorrência de modos de microdeformação com maior consumo de energia (GRASSI et al., 2001). Com a adição de partículas de borracha a um polímero frágil, pode-se induzir o mecanismo de microfibrilamento no material, ocorrendo ao redor do equador das partículas presentes. A vantagem deste mecanismo é que se tem uma distribuição de tensões (e não a concentração de tensões como no caso de defeitos isolados) e, portanto, possibilita-se uma dissipação significativa da energia aplicada antes da geração das trincas catastrófica. Além disso, o crescimento da fissura é interrompido e reiniciado quando encontra outra partícula de borracha (RABELLO, 2000; LUNA et al., 2014d). A Figura 5 ilustra o mecanismo de absorção de impacto do HIPS por meio do microfissuramento.

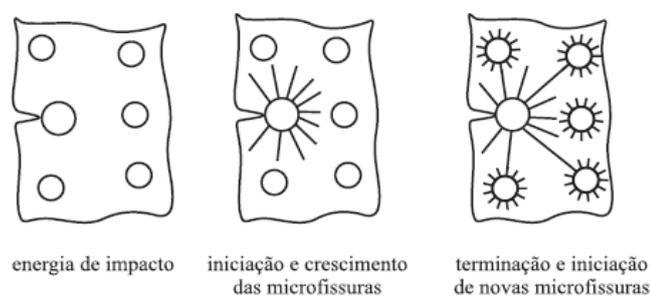


Figura 5. Mecanismo de absorção de impacto do HIPS por meio do microfissuramento. Fonte: (GRASSI et al., 2001).

Em alguns polímeros o microfibrilamento não é o mecanismo dominante de deformação (Exemplo: PVC e as poliamidas). A deformação por cisalhamento ocorre nos casos em que a tensão para formação das microfibrilações é mais alta do que a tensão de escoamento do

material. Se o valor destas duas tensões for semelhante, então o polímero se deforma por ambos os mecanismos. A adição de modificadores de impacto a estes tipos de materiais induz um maior número de zonas de escoamento, aumentando a energia de fratura em comparação com o material não aditivado. Este mecanismo de tenacificação dissipa a energia aplicada sem provocar fissuras, sendo, portanto, menos danoso para o material do que o microfibrilamento. Frequentemente se observa o esbranquecimento em polímeros que se deformam por cisalhamento, e isto tem sido atribuído à cavitação das partículas de borracha, criando-se vazios imediatamente antes do escoamento por cisalhamento (RABELLO, 2000).

2.6. Revisão da Literatura

2.6.1. Blendas de PA6 (Nylon)

LUNA et al., (2014a) desenvolveram blendas de poliamida 6/resíduo de borracha reciclada (SBRr), com adição de um agente compatibilizante (PE-g-MA). As blendas, inicialmente foram preparadas em uma extrusora de rosca dupla corrotacional e, posteriormente, os grânulos extrusados foram moldados por injeção. As blendas de PA6/SBRr e PA6/SBRr/compatibilizante foram analisadas por meio de ensaios de temperatura de deflexão térmica (HDT), análise térmica dinâmico-mecânica (DMTA), calorimetria exploratória diferencial (DSC) e mecânico (impacto). Ficou evidenciado que a resistência ao impacto e a temperatura de deflexão térmica das blendas reduziram pouco quando comparadas com a poliamida 6. No ensaio de DMTA as blendas binárias e ternárias houve deslocamento dos picos para aproximadamente -10°C e o deslocamento da relaxação α da PA6 para valores maiores. Para a DSC em todas as curvas observa-se a presença dos picos da temperatura de cristalização da PA6 tanto para as blendas binárias quanto para as ternárias.

OLIVEIRA et al., (2011) desenvolveram blendas de poliamida 6 (PA6) com acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), utilizando-se o copolímero estireno-anidrido maleico (SMA), com 7% de anidrido maleico, como compatibilizante. O efeito de três sequências de mistura na microestrutura e propriedades das blendas foi estudado. A morfologia e as propriedades mecânicas dos materiais foram caracterizadas por microscopia eletrônica de transmissão (MET) e ensaios de resistência ao impacto e módulo de elasticidade, respectivamente. Os resultados mostraram que a morfologia e propriedades mecânicas das blendas ternárias foram diferentes e dependem da sequência de mistura. A blenda preparada pela mistura simultânea de todos os componentes, em uma única extrusão, apresentou melhor tenacidade. Por outro lado, quando o ABS e o SMA foram misturados juntos em uma primeira extrusão, antes da incorporação da PA6 em uma segunda extrusão, o valor da resistência ao impacto encontrado foi menor que o da matriz PA6 e da blenda sem compatibilizante PA6/ABS.

AGRAWAL et al., (2008) investigaram o efeito de diferentes compatibilizantes na reometria de torque, propriedades mecânicas e morfologia das blendas de PA6/PEAD. As blendas foram preparadas em uma extrusora de rosca dupla contra-rotativa com filetes totalmente interpenetrantes, a 240°C em todas as zonas e velocidade de 50 rpm. A composição das blendas foi de 80/20 (% em peso) para as blendas binárias de PA6/PEAD e de 80/10/10 (% em peso) para as blendas ternárias de PA6/Compatibilizante/PEAD. Os resultados mostraram que houve um aumento no torque das blendas de PA6/PEAD com a adição dos compatibilizantes. O compatibilizante PEgAA foi o que apresentou maior reatividade com a PA6. Entretanto, foi observada uma redução no torque devido à degradação. Os resultados de propriedades mecânicas mostraram que houve aumento considerável na resistência ao impacto das blendas de PA6/PEAD quando os compatibilizantes foram adicionados. Os resultados de MEV mostraram que a adição dos

compatibilizantes às blendas de PA6/PEAD reduziu significativamente o tamanho médio das partículas de PEAD, e melhorou a adesão entre as fases desses polímeros, resultando principalmente, em um aumento da resistência ao impacto.

2.6.2. Blendas de PP (Polipropileno)

NASCIMENTO et al., (2013) desenvolveram blendas de PP/PA6 com o objetivo de avaliar a influência da concentração de poliamida 6 (PA6) e de diferentes compatibilizantes nas propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas. As blendas foram preparadas em extrusora de rosca dupla contrarrotacional e as amostras foram moldadas por injeção e posteriormente caracterizadas por meio de propriedades mecânicas (módulo de elasticidade e resistência ao impacto), calorimetria exploratória diferencial (DSC) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para avaliar a influência da concentração de PA6 nas blendas de PP/PA6, foram utilizadas as concentrações de 20, 30, 40 e 50% em peso. A composição de 70/30% foi escolhida para avaliar o efeito dos compatibilizantes PPgAA, PPgMA e E-GMA nesta blenda. Os resultados das propriedades mecânicas mostraram que, para as blendas binárias, à imiscibilidade entre os polímeros afetou o módulo de elasticidade, reduzindo até a concentração de 30% de PA6 e aumentando após esse valor até 50% de PA6. A resistência ao impacto das blendas binárias foi aumentada com o aumento de teor de PA6 devido à formação de uma morfologia “fibrilar” que pode ter retardado a propagação da trinca. A análise por DSC mostrou a separação das temperaturas de fusão e cristalização dos componentes individuais, PP e PA6, confirmando a imiscibilidade entre a matriz e a fase dispersa. A morfologia analisada por MEV revelou a formação de fase co-contínua para concentrações de PA6 acima de 40% na blenda PP/PA6. Para as blendas ternárias os resultados mostraram melhorias significativas no módulo de elasticidade com a adição de PPgMA e de PPgAA em comparação com a blenda PP/PA6 70/30%.

MÉLO et al., (2000) avaliaram o efeito da adição de 2 a 7% em peso de um copolímero tribloco estireno-b-etileno-co-butileno-b-etireno (SEBS) em uma blenda polipropileno/poliestireno de alto impacto (PP/HIPS) 70:30% em peso. As propriedades de tração e impacto, temperatura de amolecimento Vicat e morfologia da blenda PP/HIPS (70:30%) em função da concentração de SEBS foram determinadas. As blendas foram processadas em extrusora de rosca dupla contra-rotativa interpenetrante e as amostras moldadas por compressão. Os resultados mostraram que, embora a adição do SEBS tenha promovido um aumento leve na resistência tênil e no módulo de elasticidade, observou-se um expressivo aumento no alongamento na ruptura e na resistência ao impacto das blendas; a temperatura Vicat das blendas foi superior à do HIPS e que a adição do SEBS promoveu uma redução significativa do tamanho de partícula, indicando que o SEBS exerceu um efeito emulsificante e estabilizador na morfologia das blendas investigadas. Resultados otimizados foram obtidos para a composição contendo 5% de SEBS, o que foi atribuído a uma maior compatibilidade entre as fases.

2.6.3. Blendas de PS (Poliestireno)

LÍBIO et al. (2012) investigaram a compatibilização da blenda PS/EPDM com os copolímeros SEBS e SBS. As blendas foram preparadas por fusão dos componentes. Os materiais foram analisados por microscopia eletrônica de varredura, ensaios de tração e de impacto, e exposição à luz UV por 20 dias. A adição dos copolímeros em bloco de SBS e SEBS melhorou a dispersão de EPDM na matriz de poliestireno. As misturas compatibilizadas mostraram propriedades de tensão mais baixa, mas foi observado um aumento importante na resistência ao impacto em comparação com a mistura não

compatibilizada. No que se refere à resistência ao impacto, o SBS foi mais eficaz do que o SEBS como agente compatibilizante.

LUNA et al., (2015b) desenvolveram blendas de poliestireno (PS) com resíduo de borracha de estireno-butadieno (SBRr), utilizando 5% do agente compatibilizante estireno butadieno-estireno (SBS). As blendas inicialmente foram processadas em uma extrusora de dupla rosca corrotacional e, posteriormente, os grânulos extrusados foram moldados por injeção. As blendas foram caracterizadas mecanicamente (impacto e flexão) e morfologicamente (MEV). O objetivo principal foi analisar a influência da sequência de mistura na morfologia e propriedades mecânicas destas blendas. Os resultados evidenciaram que a resistência ao impacto aumentou expressivamente, enquanto que a resistência á flexão ocorreu perdas de propriedades em relação à matriz polimérica. Quando o PS e o SBS foram misturados juntos em uma primeira etapa de extrusão, antes da incorporação do SBRr em uma segunda etapa de extrusão, ocorreu a otimização da resistência ao impacto com um aumento de 302% em relação a matriz de poliestireno.

2.6.4. Blendas de PVC (Policloreto de Vinila)

KUREK et al., (2015) visando à substituição do ABS em peças cromadas, amostras de PVC e blendas de PVC/ABS, na razão mássica de 20/80, 40/60 e 60/40%, foram submetidas ao pré-tratamento em solução sulfocrômica sob diferentes condições de concentração, tempo e temperatura e sendo em seguida cromadas. As modificações na superfície das peças após o condicionamento foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura, microscopia de força atômica e rugosidade. A qualidade da deposição metálica foi avaliada por inspeção visual e teste de adesão. Os resultados mostraram que, aumentando a concentração de PVC nas peças necessitou-se de condições operacionais mais agressivas, tais como maiores temperaturas de banho, tempo de imersão e concentração de solução sulfocrômica para que ocorresse a adesão da camada metálica. De todas as condições testadas com a solução condicionante sulfocrômica no tratamento das peças de PVC e blendas PVC/ABS de 20/80 e 40/60, a concentração de 350 g/L de ácido crômico e 400 g/L de ácido sulfúrico, temperatura de 70°C e tempo de imersão de 15 minutos, ocasionou deposição do metal em toda a superfície das peças, as quais foram aprovadas nos testes de adesão e corrosão.

RODOLFO JÚNIOR et al., (2008) estudaram a influência do tipo de agente de partição da borracha nitrílica (resina de PVC e CaCO₃) na obtenção de blendas PVC/NBR. As propriedades mecânicas das blendas foram avaliadas por ensaios de tração, rasgo e dureza. As blendas com NBR com agente de partição de PVC apresentaram maior tensão na ruptura e módulo de elasticidade que as blendas em que utilizaram NBR como agente de partição de CaCO₃. A morfologia foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura sendo bastante afetada pelo tipo de agente de partição.

2.6.5. Blendas de PBT (Polibutileno Tereftalato)

AMBRÓSIO et al., (2010) desenvolveram fitas extrudadas de blendas poli(tereftalato de butileno)/terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (PBT/ABS). Quando compatibilizada com terpolímero reativo metacrilato de metila-co-metacrilato de glicidila-co-acrilato de etila (MGE), a blenda ternária PBT/ABS/MGE apresentou maior viscosidade, menor entalpia de fusão e menor temperatura de transição frágil dúctil (TTFD) que a blenda binária PBT/ABS, devido possivelmente à reação do grupo epóxi do MGE com os terminais de cadeias do PBT. A blenda compatibilizada e processada com velocidade de rotação das roscas de 120 rpm apresentou maior viscosidade, menor entalpia de fusão e melhores propriedades de resistência ao impacto que aquela processada a 240 rpm. A maior velocidade de rotação das roscas pode

ter degradado os componentes da blenda. A taxa de alimentação foi a variável de processo que mais influenciou nas propriedades da blenda, pois a taxa de 3,5 kg/h deteriorou completamente as propriedades de impacto, reduziu a viscosidade e aumentou a entalpia de fusão, quando comparada com a taxa de 7,0 kg/h. A deterioração das propriedades de impacto foi atribuída ao maior tempo de residência da blenda na ERDCI, que submeteu a blenda ao cisalhamento e à temperatura por mais tempo, causando degradação dos componentes da blenda.

ITO et al., (2004) observaram o desenvolvimento da morfologia de fases da blenda binária PBT/ABS e desta blenda compatibilizada pela adição de um copolímero acrílico reativo, durante a etapa de mistura por extrusão e de moldagem por injeção. A evolução da morfologia das blendas, durante a etapa de mistura, foi analisada por meio do uso de amostras coletadas de uma extrusora de rosca dupla co-rotacional, com acessório especialmente projetado para coleta in line. A morfologia observada nas amostras obtidas por injeção foi realizada utilizando amostras retiradas de corpos de prova moldados. As amostras obtidas por extrusão e por moldagem por injeção foram posteriormente preparadas por meio de crioultramicrotomia e observadas por meio de microscopia eletrônica de transmissão (TEM). Uma “Função Dispersão” foi desenvolvida neste trabalho para comparar as diversas morfologias sob diferentes condições de processamento e de compatibilização. A adição de compatibilizante favorece a formação de uma morfologia de domínios de ABS dispersos em PBT, ao longo do canhão da extrusora, e previne satisfatoriamente o fenômeno de coalescência destes domínios durante o processo de moldagem por injeção. A função dispersão foi utilizada principalmente para mostrar a tendência da evolução morfológica e mostrou um bom desempenho.

2.6.6. Blendas de PE (Polietileno)

MOHAMMADI et al., (2012) desenvolveram filmes de blendas de polietileno de alta densidade com o de baixa densidade, com o objetivo de analisar suas implicações sobre a fusão, cristalização e comportamento mecânico. Ficou evidenciado com a técnica de DSC que os filmes das misturas são miscíveis em composições ricas em PEAD, parcialmente miscível com 95% de LDPE e completamente imiscíveis em outras composições. A análise térmica revelou que a mistura tem um efeito insignificante sobre a espessura de lamelas da fase LDPE, porém tem forte influência sobre a espessura de lamelas da fase HDPE. As medições de DRX revelou também tendência qualitativamente semelhante em cristalinidade e espessura das lamelas. Os resultados das propriedades de tração das películas dos filmes evidenciaram melhoria das propriedades nas misturas contendo baixa quantidade de LDPE. Especialmente, a deformação à ruptura e a resistência à tração do filme contendo 5% de LDPE foi maior do que a de HDPE puro, o que sugere que os efeitos sinérgicos.

GUIMARÃES et al., (2003) estudaram as propriedades reológicas do polietileno de alta densidade (HDPE) tenacificado com dois tipos de elastômeros metalocênicos à base de poli(etileno-co-octeno) (EOC). Misturas físicas de HDPE e EOC foram processadas em extrusora monorosca Wortex (L/D=32), à 230°C e 50 rpm, utilizando percentagem mássica dos EOCs de 5 a 80%. As propriedades reológicas foram avaliadas em experimentos estacionários e dinâmicos a 190°C e taxas de cisalhamento na faixa de 90 s⁻¹ a 1500 s⁻¹ e frequências na faixa de 10⁻¹ rad/s a 10² rad/s. As misturas HDPE/EOC exibiram pseudoplasticidade e comportamento reológico complexo. A complexidade do comportamento reológico foi acentuada com o aumento do peso molecular e da concentração de ramificações de cadeia longa (DRI) do EOC.

2.6.7. Blendas de Polímeros Biodegradáveis

PECHEKOSKI et al., (2014) avaliaram as propriedades e características do PHB e PLA e de suas misturas poliméricas, avaliando o uso na preparação de filmes finos por extrusão para embalagens. Verificou-se a possibilidade de produção de filmes finos de misturas PHB/PLA, por meio das técnicas de extrusão de filmes planos e tubulares soprados. O estudo das propriedades mecânicas das misturas de PHB e PLA sugere que as misturas PHB/PLA (75/25%) e PHB/PLA (50/50%) seguem a regra das misturas, sendo suas propriedades proporcionais a quantidade dos seus componentes. A mistura PHB/PLA (25/75%) apresenta valores médios superiores aos dos polímeros, sugerindo algum tipo de sinergismo nesta mistura. Estudos de envelhecimento demonstraram que os polímeros estudados e suas blendas apresentam um aumento na ductibilidade durante um intervalo de tempo de 2 anos, sugerindo a mudança das propriedades físicas destes materiais com o decorrer do tempo. Estudos de biodegradação no solo in natura, demonstraram que somente o PHB apresenta sinais visuais de biodegradação num período de 6 meses. As misturas PHB/PLA e o PLA puro não apresentaram sinais visuais significativos de biodegradação. Para o mesmo período de tempo não foi detectada nenhuma variação na massa dos corpos de prova, tanto dos polímeros como das misturas PHB/PLA.

FLEMING et al., (2012) desenvolveram blendas de copolímero de poliácridonitrila (PAN) com polímeros biodegradáveis pelo método convencional via extrusão. O presente trabalho aborda um estudo do comportamento térmico, por meio da técnica de DSC, de um copolímero de PAN na proporção em massa de 94% acrilonitrila (AN) e 6% acetato de vinila (VA) e também deste mesmo copolímero misturado com até 7% em massa dos polímeros biodegradáveis PCL e PHB-HV. Além disso, foi realizado um estudo cinético, por meio do modelo de Kissinger, do evento térmico relacionado à degradação do copolímero de PAN e de suas blendas. Os resultados evidenciaram que a blenda com PCL apresentou um comportamento térmico mais apropriado durante o processo de extrusão que a blenda com PHB-HV. O polímero biodegradável PCL além de reduzir o início da temperatura de fusão para aproximadamente 130°C, deixou a blenda com uma fluidez apropriada para processos de conformação termoplástica em extrusora. O copolímero de PAN-co-VA(6%) apresentou uma energia de ativação de 78 kJ/mol e as blendas com PCL e PHB-HV apresentaram energia de ativação de 79 kJ/mol e 92 kJ/mol, respectivamente.

2.6.8. Blendas de PMMA (Polimetil Acrilato)

CHUAI et al., (2003) estudaram o comportamento térmico e as propriedades de misturas de poliestireno (PS) e poli (metacrilato de metila) (PMMA) com e sem o compatibilizante PS-b-PMMA. A fração em peso do PS nas misturas variou de 0,1 para 0,9%. A partir da temperatura de transição vítrea (T_g) e incremento do calor específico (ΔC_p) na T_g , o PMMA dissolveu-se mais na fase PS. A adição de um compatibilizante PS-b-PMMA na mistura PS/PMMA promoveu uma melhor solubilidade do PMMA em PS, bem como aumentou a adesão interfacial entre as fases de PS e PMMA. A análise termogravimétrica (TG) evidenciou que a presença do compatibilizante PS-b-PMMA na mistura PS/PMMA promoveu uma melhor estabilidade térmica.

CAMERON et al., (2002) avaliaram a miscibilidade da blenda de PMMA/SAN. Ficou evidenciado que a miscibilidade depende da quantidade de acrilonitrila do SAN. O critério para indicação da miscibilidade utilizado foi o aparecimento de um único pico referente à temperatura de transição vítrea para a blenda, em uma temperatura intermediária às temperaturas de transição vítrea dos polímeros puros.

2.6.9. Blendas de PET (Polietileno Tereftalato)

FERREIRA et al., (2011) investigaram a viabilidade de reciclagem de rejeitos pós-industriais de poli(tereftalato de etileno) (PET) provenientes da fabricação de mantas de tecido e de resíduos de poliamida (PA) oriundos de pneus no desenvolvimento de blendas de PET/PA. As blendas foram produzidas por meio de extrusão reativa entre os dois resíduos com a presença de um catalisador. Os resultados obtidos a partir de caracterização térmica e química das blendas evidenciaram a ocorrência de trans-reações entre segmentos de cadeia polimérica dos dois polímeros, possibilitando a compatibilização do sistema. A ocorrência de trans-reações entre o PET e a PA, evidenciada principalmente nas blendas com teores de 25 e 50% de PET, tende a tornar possível a reciclagem mecânica destes dois rejeitos poliméricos.

RABELLO e WELLEN (2007) estudaram a cristalização a frio do poli(tereftalato de etileno) (PET) e de suas blendas com poliestireno (PS) utilizando calorimetria exploratória diferencial (DSC), análise dinâmico-mecânica (DMA), microscopia eletrônica de varredura (MEV) e propriedades mecânicas. As blendas PET/PS formam misturas bifásicas, como confirmado por MEV e por DMA, onde fases distintas e duas Tgs foram observadas. Por outro lado, a determinação da temperatura de fusão de equilíbrio (Tf) do PET por DSC indicou uma diminuição neste parâmetro com a presença do PS, sugerindo que uma solubilidade limitada do PS no PET deve ocorrer. A presença de um componente não cristalizável como o PS, parcialmente solúvel em uma fase cristalizável como PET, reduz a habilidade de cristalização. Isto foi observado nas análises de DSC por meio do deslocamento dos picos de cristalização a frio do PET para temperaturas maiores e por uma redução na velocidade de cristalização a frio. A abordagem de Avrami foi utilizada para os estudos cinéticos em condições isotérmicas, mostrando que o processo de cristalização ocorre em dois estágios e que a constante de cristalização K diminuiu significativamente com a presença de poliestireno. Nas blendas PET/PS a presença de apenas 1% de PS retardou significativamente a cristalização do PET, em magnitude semelhante ao que ocorreu quando concentrações mais elevadas de PS foram utilizadas. Este comportamento é de grande importância industrial já que em baixa concentração de PS as propriedades mecânicas do PET não são afetadas.

2.6.10. Blendas de PC (Policarbonato)

WANG et al., (2012) avaliaram as propriedades mecânicas, térmicas e morfológicas de blendas PLA/PC, com base na mesma fração em peso de cada componente. Amostras de PLA/PC e compatibilizadas com PBSL (polibutylene succinate-*co*-lactate) e Epóxi (EP) foram preparadas em uma extrusora de rosca dupla corrotacional e, posteriormente, os grânulos extrusados foram moldados por injeção. Os resultados de DSC das blendas binárias de PLA/PBSL e PC/PBSL evidenciaram que os componentes das misturas são imiscíveis. As morfologias por microscópio eletrônico de varredura (MEV) revelou que o tamanho dos domínios de PBSL ficou na faixa de aproximadamente 0,5-1 μm para a blenda PLA/ PBSL, enquanto na blenda de PS/PBSL foi reduzido para cerca de 0,1 μm . A resistência ao impacto Izod com entalhe da blenda ternária PC/PLA/PBSL aumentou com o conteúdo PBSL até 10% devido a um aumento da adesão interfacial e tamanho do domínio adequado da fase dispersa. A temperatura de deflexão térmica (HDT) mostrou-se máxima para 5% de PSBL, e diminuiu com o aumento do teor PSBL. No entanto, o valor da HDT da blenda ternária PC/PLA/EP aumentou consideravelmente com 10% de EP, devido à formação de uma interface forte. Para tirar proveito dos dois compatibilizantes, PSBL e EP foram adicionados a mistura PLA/PC a 10% de cada mais um dos compatibilizantes. Observou-se que a HDT melhorou de forma significativa.

ORÉFICE et al., (2004) desenvolveram blendas de policarbonato (PC)/poliestireno (PS) por extrusão. O processo de separação de fases foi estudado por meio da combinação de ferramentas analíticas como microscopias de infravermelho (micro-FTIR), óptica, eletrônica de varredura e análise térmica. Os resultados evidenciaram que as blendas PC-PS, produzidas por extrusão, apresentam separação de fase clássica, com a presença de uma fase dispersa em uma matriz contínua para composições contendo 25% dos polímeros e elevada conectividade para blendas com 50% de cada componente. O uso de técnicas como a microscopia de infravermelho (micro-FTIR) mostrou-se eficiente para detectar os processos de separação de fase, a composição de cada fase nas blendas e determinar o grau de interação entre os componentes da blenda por meio do parâmetro de interação de Flory Huggins. Os resultados mostraram que blendas com conteúdo mais elevado de policarbonato tendem a apresentar valores de parâmetro de Flory-Huggins mais próximos dos valores críticos, sugerindo maior compatibilidade nessas composições.

2.7. Algumas Blendas Comerciais

As blendas poliméricas têm uma considerável importância comercial, pois pode-se obter um material com propriedades aprimoradas, bem como redução de custos. A Tabela 2 ilustra diversas blendas e suas aplicações práticas.

Tabela 2. Blendas poliméricas, vantagens e aplicações práticas. Fonte: (MARK et al., 1988).

Blenda Polimérica	Vantagens	Aplicação
PVC/ABS	Melhor processabilidade e resistência do que o PVC. Melhor retardante de chama do que o ABS.	Carcaças de eletrodoméstico.
PC/ABS	Melhor resistência ao impacto e temperatura de deflexão térmica do que o ABS. Melhor processabilidade e menor custo do que o PC.	Aparelhos e máquinas de caixas eletrônicos. Componentes automotivos.
PP/EPDM	Melhor resistência ao impacto do que o PP	Isolamento de fios e cabos. Para choques de automóveis. Mangueiras.
PC/PBT	Melhor processabilidade e maior resistência ao ataque químico do que o PC.	Tubulações. Para choques de automóveis. Carcaças de caixas de máquinas
PET/PMMA	Menor custo do que o PMMA	Elétricas e Eletrônicos.
PPO/HIPS	Melhor processabilidade e tenacidade do que o PPO. Melhor temperatura de deflexão térmica do que o PS.	Componentes Eletrodomésticos. Carcaças de Máquinas.
PBT/PET	Menor custo, melhor brilho e flexibilidade do que o PET.	Elétricos e Eletrônicos.
PA/ABS	Boa resistência ao impacto. Alta resistência ao calor. Alto fluxo.	Componentes automotivos. Elétricas/Eletrônica. Equipamentos de Jardins.

3. CONCLUSÕES

A tecnologia das blendas poliméricas tem sido sem dúvida, um dos temas mais importantes na área da ciência dos polímeros nas últimas seis décadas, tanto em pesquisa acadêmica, bem como para a indústria. Observou-se que as blendas poliméricas é uma abordagem simples e econômica de modificações das propriedades dos polímeros, sem necessitar de ajuste das condições operacionais do reator de polimerização. O desenvolvimento de blendas tem como intuito principal melhorar determinadas propriedades dos componentes isolados, tais como resistência mecânica, processabilidade e estabilidade dimensional. Além disso, pode-se reduzir custo do produto final. Geralmente, no desenvolvimento de blendas poliméricas as misturas são imiscíveis e, portanto, necessitando de um agente compatibilizante para otimizar as propriedades.

REFERÊNCIAS

ANH, T. H.; KHANH, T. V. Fracture and Yielding Behaviors of Polystyrene/Ethylene-Propylene Rubber Blends: Effects of Interfacial Agents. **Polymer Engineering and Science**, v. 41, n. 1, p. 2073-2081, 2001.

AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Reometria de Torque, Propriedades Mecânicas e Morfologia de Blendas Compatibilizadas de PA6/PEAD. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 152-157, 2008.

AMBRÓSIO, J. D.; PESSAN, L. A.; LAROCCA, N. M.; HAGE JÚNIOR, E. Influência das Condições de Processamento na Obtenção de Blendas PBT/ABS. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 4, p. 315-321, 2010.

AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. 1º ed. Barueri: Manole, 2007. 288 p.

AKAY, M. **Introduction to Polymer Science and Technology**. 1º ed. Reino Unido: Universidade de Ulster, 2012. 269 p.

ABREU, F. O. M. S. **Blendas de Polipropileno com Elastômeros Termoplásticos tipo SBS e SEBS**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2004.

BARLOW, J. W.; PAUL, D. R. Polymer Blends and Alloys a Review of Selected Considerations. **Polymer Engineering & Science**, v. 21, n. 15, p. 985-996, 1981.

BIZI, C. M. P. **Efeito das Condições de Processamento e da Adição de Borracha Trans-Poliocetenileno nas Propriedades de Blendas de Borracha Natural/Estireno Butadieno**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CAMERON, N.; COWIE, J. M. G.; FERGUSON, R.; RIBELLES, J. L. G.; ESTELLÉS, J. M. Transition from Miscibility to Immiscibility in Blends of Poly(methyl methacrylate) and Styrene-Acrylonitrile Copolymers With Varying Copolymer Composition: a DSC Study. **European Polymer Journal**, v. 38, n. 3, p. 597-605, 2002.

CIVIERO, E. **Preparação e Caracterização de Blendas Poliméricas Recicladas**. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2006.

CHUAI, C.; ALMDAL, K.; JORGENSEN, J. L. Thermal Behavior and Properties of Polystyrene/Poly(methyl methacrylate) Blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 91, n. 1, p. 609-620, 2003.

DESIDERÁ, C. **Blendas de Poliamida Reciclada e Polietileno Proveniente da Recuperação de Embalagens Multicamadas**. Tese de Doutorado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2007.

FERREIRA, C. T.; FONSECA, J. B.; SARON, C. Reciclagem de Rejeitos de Poli(tereftalato de etileno) (PET) e de Poliamida (PA) por meio de Extrusão Reativa para a Preparação de Blendas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 2, p. 118-122, 2011.

FLEMING, R.R.; PARDINI, L. C.; ALVES, N. P.; BRITO JÚNIOR, C. A. R.; SALES, R. C. M.; MARQUES, V. G. Avaliação de Blendas de PAN/Polímeros Biodegradáveis por Calorimetria. **Revista Matéria**, v. 17, n. 1, p. 909-918, 2012.

FIEGENBAUM, F. **Estudo da Compatibilização das Blendas PP/PA6 e PA6/EPR**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2007.

GOMES, A. S.; BARBOSA, R. V.; SOARES, B. G. Agentes Compatibilizantes Não Reativos Para Blendas Poliméricas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 2, n. 2, p. 19-24, 1992.

GONELLA, L. B. **Compatibilização de Blendas de Polipropileno/Nylons**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, 2001.

GRASSI, V. G.; FORTE, M. M. C.; PIZZOL, M. F. D. Aspectos Morfológicos e Relação Estrutura-Propriedades de Poliestireno de Alto Impacto. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 2, p. 158-168, 2001.

GUIMARÃES, M. J. O. C.; COUTINHO, F. M. B.; ROCHA, M. C. G.; BRETAS, R. E. S.; FARAH, M. Reologia de Polietileno de Alta Densidade Tenacificado com Polietileno Elastomérico. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 135-140, 2003.

GUO, Z.; FANG, Z.; TONG, L. Application of Percolation Model on the Brittle to Ductile Transition for Polystyrene and Polyolefin Elastomer Blends. **Express Polymer Letters**, v. 1, n. 1, p. 37-43, 2007.

ITO, E. N.; PESSAN, L. A.; HAGE JÚNIOR, E.; COVAS, J. A. Análise do Desenvolvimento Morfológico da Blenda Polimérica PBT/ABS durante as Etapas de Mistura por Extrusão e Moldagem por Injeção. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 83-92, 2004.

IMRE, B.; RENNER, K.; PUKÁNSZKY, B. Interactions, Structure and Properties in Poly(lactic acid)/Thermoplastic Polymer Blends. **Express Polymer Letter**, v. 8, n. 1, p. 2-14, 2014.

JÚNIOR, S. V. C. **Ciência dos Polímeros: Um Texto Básico Para Tecnólogos e Engenheiros**. 2º ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 277 p.

KIM, W. N.; BURNS, C. M. Thermal Behavior, Morphology, and the Determination of the Flory–Huggins Interaction Parameter of Polycarbonate-Polystyrene blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 34, n. 3, p. 945-967, 1987.

KOOI, O. S.; HASHIM, A. S. Effect of Polystyrene-Modified Natural Rubber as High Molecular Weight Modifier in Polypropylene Based Binary Blends. **International Journal of Engineering & Technology**, v. 11, n. 4, p. 39-48, 2011.

KONINGSVELD, R. Thermodynamics of Polymer Blends. **Macromolecular Symposia**, v. 78, n. 1, p. 1-13, 1994.

KUREK, A. P.; DOTTO, M. E. R.; SELLIN, N.; ARAÚJO, P. H. H. Tratamento Químico Superficial e Metalização de ABS, PVC e Blendas de PVC/ABS. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 25, n. 2, p. 212-218, 2015.

LIBIO, I. C.; GRASSI, V. G.; PIZZOL, M. F. D.; NACHTIGALL, S. M. B. Toughened Polystyrene With Improved Photoresistance: Effects of the Compatibilizers. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 126, n. 1, p. 179-185, 2012.

LIU, Y. Polymerization-induced phase separation and resulting thermomechanical properties of thermosetting/reactive nonlinear polymer blends: A review. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 127, n. 5, p. 3279-3292, 2013.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K. T.; ARAÚJO, E. M.; SILVA, A. L.; BEZERRA, A. F. C. Desenvolvimento de Blendas Poliméricas visando a Tenacificação dos Polímeros: Uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 1, p. 67-80, 2015a.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K. T.; ARAÚJO, E. M. Influência da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas de PS/SBRr Compatibilizada com SBS. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, v. 12, n. 1, p. 3-11, 2015b.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; ARAÚJO, E. M. Compatibilização e Reaproveitamento da Borracha SBR no Processo de Tenacificação do Poliestireno. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 29-36, 2015c.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A.; OLIVEIRA, A. D. Estudo do Comportamento Mecânico, Termomecânico e Morfológico de Misturas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBR). **Revista Matéria**, v. 20, n. 2, p. 322-334, 2015d.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; ARAÚJO, E. M. Análise do Comportamento Termomecânico, Térmico e Mecânico de Blendas de PA6/Resíduos de Borracha. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 1, p. 160-169, 2014a.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; ARAÚJO, E. M. Estudo do Comportamento Mecânico e Reológico de Blendas de PS/SBRr e PS/SBRr/SBS. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 15, n. 3, p. 149-157, 2014b.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; ARAÚJO, E. M. Reaproveitamento dos Resíduos de Borracha em Blendas com Poliestireno. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2014c.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K. T.; ARAÚJO, E. M. Efeito do Compatibilizante SBS e da Granulometria nas Propriedades Mecânicas de Blendas de PS/Resíduo de Borracha (SBRr). **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 35, n. 2, p. 149-158, 2014d.

MARK, H.F.; BIKALES, N.M.; OVERBERGER, C.G.; MENGES, G.; KROSCCHWITZ, J.I. **Encyclopedia of Polymer**. Science Engineering, Wiley-Interscience: Pub. New York, v. 12, 1988.

MÉLO, T. J. A.; CARVALHO, L. H.; CALUMBY, R. B.; BRITO, K. G. Q.; D'ALMEIDA, J. R. M.; SPIETH, E. Propriedades Mecânicas e Morfologia de uma Blenda Polimérica de PP/HIPS Compatibilizada com SEBS. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 2, p. 82-89, 2000.

MOHAMMADI, M.; YOUSEFI, A. A.; EHSANI, M. Study of the Thermal and Mechanical Properties of Blown Films of High and Low Density Polyethylene Blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, n. 1, p. 755-767, 2012.

NASCIMENTO, W. A.; LIMA, J. C. C.; AGRAWAL, P.; LIRA, H. L.; MÉLO, T. J. A. Blendas de PP/PA6: Efeito da Concentração de PA6 e Compatibilizantes Reativos nas Propriedades Mecânicas, Térmicas e Morfológicas. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 8, n. 3, p. 155-162, 2013.

OLIVEIRA, A. D.; LAROCCA, N. M.; PESSAN, L. A. Efeito da Sequência de Mistura nas Propriedades de Blendas PA6/ABS Compatibilizadas com o Copolímero SMA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, n. 1, p. 27-33, 2011.

ORÉFICE, R. L.; VASCONCELOS, W. L.; MORAES, M. A. S. Estabilidade de Fases em Blendas de Policarbonato/Poliestireno Avaliada por Micro-FTIR, Análise Térmica e Microscopia Eletrônica de Varredura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 129-133, 2004.

PACHEKOSKI, W. M.; DALMOLIN, C.; AGNELLI, J. A. M. Blendas Poliméricas Biodegradáveis de PHB e PLA Para Fabricação de Filmes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 4, p. 501-507, 2014.

PASSADOR, F. R.; PESSAN, L. A.; JÚNIOR, A. R. Estado de Mistura e Dispersão da Fase Borrachosa em Blendas PVC/NBR. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 3, p. 174-181, 2006.

PAUL, D. R.; BARLOW, J. W.; KESKKULA, H. **Polymer Blends In: Encyclopedia of Polymer Science And Engineering**. New York: John Wiley & Sons, v. 12, p. 399,1988.

PICHAİYUT, S.; NAKASON, C.; KAESAMAN, A.; KIATKAMJORNWONG, S. Influences of Blend Compatibilizers on Dynamic, Mechanical, and Morphological Properties of Dynamically Cured Maleated Natural Rubber and High-Density Polyethylene Blends. **Polymer Testing**, v. 27, n. 5, p. 566-580, 2008.

RABELLO, M. S.; WELLEN, R. M. R. Redução da Velocidade de Cristalização a Frio do PET na Presença de Poliestireno. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 2, p. 113-122, 2007.

RABELLO, M. S. **Aditivação de Polímeros**. 1º ed. São Paulo: Artliber Editora, 2000. 242 p.

RICHART, F. S. **Influência do Processamento na Preparação de Compósito PEAD/PEBDL/Argila Organofílica Para Utilização em Equipamentos Para o Setor Elétrico**. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2013.

ROBESON, L. M. **Polymer Blends: A Comprehensive Review**. 1º ed. Londres: Hanser Library, 2007. 471 p.

RODOLFO JÚNIOR, A.; PESSAN, L. A.; PASSADOR, F. R. Influência do Tipo de Agente de Partição da Borracha Nitrílica na Obtenção de Blendas PVC/NBR. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 193-2000, 2008.

SIQUEIRA, D. F.; BRUNS, R. E.; NUNES, S. P. Compatibilização e Otimização de Blendas Poliméricas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 15-19, 1993.

SILVA, D. F.; LUNA, C. B. B.; SILVA, G.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Avaliação das Propriedades Mecânicas de Blendas de Poliestireno/Composto de Borracha Reciclada (SBRr). **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 9, n. 2, p. 92-97, 2014.

WANG, Y.; CHIAO, S. M.; HUNG, T. F.; YANG, Y. Improvement in Toughness and Heat Resistance of Poly(lactic acid)/Polycarbonate Blend Through Twin-Screw Lending: Influence of Compatibilizer Type, **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, n. S2, p. E402-E412, 2012.

YILMAZ, F. **Polymer Science**. 1º ed. Turquia: InTech Editora, 2013. 256 p.

YU, L.; DEAN, K.; LI, L. Polymer Blends and Composites from Renewable Resources. **Progress in Polymer Science**, v. 31, n. 6, p. 576-602, 2006.

ZHIKUAN, C. Aspects of Thermodynamics of Polymer Mixtures. **Chinese Journal of Polymer Science**, v. 5, n. 3, p. 175-185, 1987.