

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS (REEE) E DA INDÚSTRIA CALÇADISTA NA MOLDAGEM DE NOVOS MATERIAIS: RUMO À ECONOMIA CIRCULAR.

Christian Camilo Cuello Barrios (Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar Sorocaba)
christian.cuello@hotmail.com

Jane Maria Faulstich de Paiva (Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar Sorocaba)
jane@ufscar.br

Virginia Aparecida da Silva Moris (Departamento de Engenharia de Produção da UFSCar Sorocaba)
vimoris@ufscar.br



Há alguns anos, a produção, o consumo e a taxa de geração de resíduos sólidos plásticos (RSP) aumentaram consideravelmente. Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) se enquadram na categoria de alto valor e periculosidade, não sendo adequado descartá-los em aterros devido à inviabilidade econômica e ambiental. Da mesma forma ocorre com os tecidos e borrachas gerados pela indústria calçadista, que são encaminhados às centrais de armazenamento e/ou descarte em aterros devido à dificuldade de reintrodução nos processos produtivos. Com o intuito de mitigar essa problemática devem ser considerados prioritários o desenvolvimento contínuo de tecnologias e métodos de reciclagem e recuperação. Assim, o presente trabalho envolveu o desenvolvimento de compósitos poliméricos com utilização de Polietileno (PE) e Polipropileno (PP) reciclados provenientes de REEES e a incorporação em distintas proporções (10 e 20%) de resíduos de tênis (RT) na blenda PE/PP compatibilizada com Anidrido Maleico (AM). Os materiais foram moldados por extrusão-injeção. As blendas e os compósitos foram avaliados através de ensaios mecânicos de flexão. De acordo com os resultados foi observado que a utilização de 10% de RT nas composições apresentou os melhores resultados de resistência à flexão, principalmente, quando a proporção de AM foi aumentada de 3% para 6% na blenda contendo PP/PE em igual proporção (50/50). O material moldado que apresentou os melhores resultados de resistência à flexão e módulo de elasticidade foi C10RT-6AM/50-50. Neste sentido, a incorporação do RT na blenda PE/PP demonstrou resultados satisfatórios, viabilizando a reciclagem destes três tipos diferentes de polímeros promovendo a possibilidade de reinserção dos mesmos na

cadeia produtiva, visando o desenvolvimento de novos produtos, e contribuindo para a economia circular e o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Gestão de resíduos, economia circular, REEE, blendas, compósitos poliméricos.

1. Introdução

Atualmente, os plásticos têm desempenhado um papel importante no cotidiano, devido a ampla variedade de propriedades químicas e mecânicas que possibilitam diversas aplicações. Os plásticos ou polímeros podem ser encontrados em peças de automóveis, embalagens de alimentos, equipamentos eletrônicos, na construção civil, na agricultura e em praticamente todos os setores (SOTO et al., 2018).

Como consequência, a produção, o consumo e a taxa de geração de resíduos sólidos plásticos (RSP) aumentaram consideravelmente nos últimos anos. A difícil biodegradabilidade destes materiais ameaça o ambiente natural, no entanto, a possibilidade de reciclagem é uma oportunidade de integrar a economia circular na cadeia de valor do plástico (SIMON, 2019).

Recentes relatórios da *PlasticsEurope* mostraram que dos 27,1 milhões de toneladas anuais de plásticos provenientes de resíduos municipais da União Europeia, apenas 31,1% foram recuperadas para reciclagem. O restante foi destinado a aterros (27,3%) ou incinerado (41,6%) (PLASTICSEUROPE, 2018).

Em geral, a fração plástica dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma mistura de diferentes produtos plásticos, composta principalmente de polipropileno (PP), polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), poliestireno (PS) e poliestireno expandido (EPS), policloreto de vinil (PVC) e plásticos de polietileno-tereftalato (PET) (MIANDAD et al., 2017). O polietileno (PE) é o material mais abundante nos resíduos plásticos descartados (ONWUDILI; INSURA; WILLIAMS, 2009).

Existem três maneiras principais de diminuir a quantidade de RSP descartados: reciclagem mecânica, recuperação energética, ou aterro sanitário (LAZAREVIC et al., 2010). Este trabalho teve como foco o processo de reciclagem mecânica, pois é um processo relativamente fácil, econômico e com equipamentos amplamente desenvolvidos (YIN et al., 2015). Estudos recentes revelaram que o processo de reciclagem é a melhor técnica para o tratamento de RSP em comparação a métodos mais antigos. Por exemplo, a combustão de polímeros residuais ou aterro subterrâneo produzem influências negativas sobre o meio ambiente através da formação de poeira, fumos, gases e outras substâncias tóxicas (GRIGORE, 2017).

Considerado uma alternativa para a gestão de resíduos de plásticos, o método de reciclagem mecânica consiste em uma série de operações mecânicas (coleta, separação, lavagem,

secagem e extrusão) com o objetivo de obter um produto com características semelhantes ao material original (AL-SALEM; LETTIERI; BAEYENS, 2009; ARANDES; BILBAO; VALERIO, 2004; LIN et al., 2014).

Neste contexto, este trabalho buscou investigar a possibilidade de reciclar dois tipos de materiais que contribuem para as principais causas de problemas ambientais dos RSP: Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE) e resíduos de calçados.

Cerca de 30 a 50 milhões de toneladas de REEEs são eliminados por ano, representando a fonte de resíduos com a maior taxa de crescimento anual, equivalente a 3-5% (CUCCHIELLA et al., 2015). Quanto aos resíduos de calçados, dos 22 bilhões de pares de calçados produzidos mundialmente, menos de 5% são reutilizados ou reciclados (LEE; RAHIMIFARD, 2012).

A preparação de misturas ou blendas de polímeros a partir de materiais recuperados de REEE tornou-se um tema de interesse no campo da reciclagem mecânica de materiais, pois podem atender requisitos específicos de processamento e desempenho que não podem ser atendidos por um único componente, melhorando assim as propriedades mecânicas e térmicas dos polímeros descartados (MOURAD, 2010; SURESH; MOHANTY; NAYAK, 2019).

O problema surge quando um tipo particular de polímero misturado com outro diminui drasticamente a qualidade da mistura, manifestando grandes desvios nas propriedades mecânicas (tração, impacto e flexão). Alguns polímeros são mais sensíveis à degradação do que outros, por exemplo, o PP reage ao reprocessamento resultando em um módulo de elasticidade relativamente baixo, enquanto o PEAD praticamente mantém suas propriedades originais (VILAPLANA; KARLSSON, 2008). Alguns setores industriais exigem altos padrões de qualidade das matérias-primas, portanto, a aceitação do plástico reciclado é baixa em tais setores.

Para melhorar as propriedades das misturas ou blendas poliméricas imiscíveis, alguns tipos de aditivos e reagentes denominados agentes de acoplamento podem ser usados para promover a miscibilidade da blenda, diminuindo a tensão interfacial. Em outras palavras, os agentes de acoplamento têm o efeito de ligar firmemente (acoplar) polímeros a inclusões como fibras e cargas particuladas, geralmente, resultando em melhorias nas propriedades mecânicas (DEARMITT; ROTHON, 2017). Dentre os agentes de acoplamento, o anidrido maleico (AM) é um dos mais utilizados (KATE; BASAVARAJU, 2018; OLIVEIRA et al., 2014; OLIVEIRA; MORAIS; MONTE, 2019).

Dentro deste contexto, o presente trabalho investiga o efeito da incorporação de resíduos de calçados esportivos nas propriedades mecânicas de flexão de blendas de PE/PP provenientes de REEE compatibilizadas com anidrido maleico (AM), a fim de promover uma nova alternativa de reciclagem, redução do impacto ambiental gerado por estes resíduos, contribuindo para a economia circular e o desenvolvimento sustentável.

2. Metodologia

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para os processamentos deste trabalho foram o Polietileno (PE) reciclado de embalagens antiestáticas, o Polipropileno (PP) reciclado de diversas fontes como computadores, *notebooks*, impressoras, etc. (ambos provenientes de REEE coletados pelo Sinctronics, Sorocaba-SP) e os resíduos de tênis (RT, constituídos por cabedal e solado, não incluindo os tecidos de algodão) também fornecidos pelo Sinctronics, porém, provenientes da indústria calçadista. O PE foi utilizado na forma de aparas, o PP no formato de *pellets* e os resíduos de tênis moídos na forma de grânulos.

Além disso, o anidrido maleico na forma de pó (código 42195), comercializado pela empresa Casa Americana Ltda (Brasil), foi utilizado como agente compatibilizante.

2.2 Preparação dos compósitos

Foi utilizada como mistura base uma razão de 50/50 em massa da matriz PE/PP, devido ao grande interesse comercial por essa composição, que apresenta propriedades balanceadas a um baixo preço (MOURAD, 2010; TAI; LI; NG, 2000).

A homogeneização das misturas foi realizada por processo de extrusão simultânea dos componentes em uma extrusora de dupla rosca (marca AX Plásticos, modelo AX OR16:40, serie 00181) com perfil de temperatura de: 190°C, 190°C, 205°C, 215°C, 215°C, 220°C, 220°C, 220°C e rotação da rosca de 160 rpm. Foram produzidas amostras sem adição de RT e com a incorporação de 10% e 20% de RT, em massa. Durante os testes iniciais, notou-se ser inviável utilizar mais de 20% em massa de RT na blenda, pois o produto final tornou-se frágil, dificultando a interação entre os *pellets* de PE e PP.

Em relação à quantidade do agente compatibilizante (anidrido maleico, AM) tentou-se manter estável em 3%, mas devido as sucessivas interrupções no fluxo de saída do fio da extrusora (com a inclusão de maiores porcentagens de RT na mistura) foi necessário aumentar a

porcentagem de AM de 3% para 6%. Desta forma, possibilitou a continuidade normal no fluxo da extrusão e promoveu a adesão entre os materiais, ou seja, diferentes quantidades de AM foram utilizadas (Tabela 1).

Para obter os corpos de prova para os ensaios mecânicos, os materiais extrusados foram peletizados, aquecidos em uma estufa a 80 °C por 2 horas (para reduzir a umidade) e moldados por injeção em um equipamento TIANJIAN, modelo PL860/260, de 3.1 toneladas, com diâmetro de 40 mm e volume máximo de injeção 188 cm³. A moldagem por injeção foi realizada com uma pressão 40 MPa, velocidade 30m/s e tempo 3s. O perfil de temperatura utilizado foi 210°C, 210°C, 205°C, 200°C, 190 °C e a temperatura do cilindro foi de 210 °C.

Para termos de comparação também foram testados PP e PE sem nenhum tipo de mistura, com o objetivo de conhecer e estabelecer referências iniciais do desempenho mecânico dos polímeros reciclados. Todas as misturas formuladas e testadas (Tabela 1) foram denominadas, respectivamente, como B0RT-3AM, C10RT-3AM, C10RT-6AM e C20RT-6AM. A letra inicial indica se a mistura é uma blenda (B) ou compósito (C), o primeiro número indica a porcentagem de RT e o segundo, a porcentagem de anidrido maleico (AM) contido na matriz blenda polimérica de PE/PP (50-50 proporção em massa).

Tabela 1 - Composição das blendas e compósitos dos materiais reciclados.

Amostra	Compósito	Quantidade	Quantidade	Quantidade	Quantidade
		RT (%)	AM (%)	PE (%)	PP (%)
1	B0RT-3AM/50-50	0	3	48,5	48,5
2	C10RT-3AM/50-50	10	3	43,5	43,5
3	C10RT-6AM/50-50	10	6	42,0	42,0
4	C20RT-6AM/50-50	20	6	37,0	37,0
5	PP	-	-	-	100,0
6	PE	-	-	100,0	-

Fonte: Autoria própria

2.3 Ensaio mecânico de flexão

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra bi apoiada e geometricamente padronizada. Durante o ensaio são monitoradas a carga aplicada e a deflexão da barra. O ensaio é caracterizado por trabalhar no regime elástico de deformação até a fratura ou deformação de 5% do corpo de prova.

Através desse ensaio é possível conhecer o comportamento do material e estudar os efeitos da geometria do seu perfil quando submetido a esforços de flexão, muito comuns em aplicações industriais e estruturais. Os padrões internacionais guia são ASTM D790 e ISO 178 e as principais propriedades que podem ser obtidas são a resistência à flexão, módulo de elasticidade, deflexão máxima de ruptura, tenacidade, entre outras.

Neste estudo, os ensaios foram realizados em um equipamento de ensaios mecânicos universal da marca Instron, modelo 3366, com uma programação do ensaio de flexão em três pontos, de acordo com a norma ASTM D790 cuja dimensão dos corpos de prova foi de 127x12,7x3,2 mm, em temperatura ambiente. A célula de carga utilizada foi de 10 kN, distância entre apoios de 51,2 mm e velocidade de ensaio de 1,36 mm/min, calculada conforme Equação 1.

$$R = \frac{ZL^2}{6d} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

R = velocidade do ensaio;

Z = constante = 0,01;

L = distância entre os apoios = 16d;

d = espessura média das amostras.

Os resultados dos ensaios mecânicos de flexão realizados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para comparar as médias das variáveis, identificando se os grupos de análise pertenciam ou não ao mesmo grupo, utilizando o software Assistat, versão 7.6 e a aplicação do método estatístico de Tukey. Este método avalia múltiplas comparações, no qual as variáveis obtidas são separadas em grupos por semelhança estatística, facilitando a visualização das diferenças entre os materiais analisados. As médias seguidas neste teste e que contém as mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5%.

3. Resultados e discussão

Na Tabela 2 estão detalhados os resultados das médias e desvio padrão obtidos nos ensaios de flexão das blendas obtidas por injeção. Para facilitar a comparação entre os dados, foi elaborada a Figura 1 (a) e (b) correspondente aos gráficos de resistência à flexão e módulo de elasticidade. Foi possível observar que os corpos de prova permaneceram sem trincas após ensaio de flexão, não havendo ruptura em nenhum dos compósitos testados.

Seguindo os parâmetros da norma ASTM D790, na qual propõe-se que para os corpos de prova que não cedem nem quebram deve-se fixar o limite de tensão em 5%, implicando assim, que na análise de deformação até ruptura os valores dos testes ficariam fixos, razão pela qual não se apresentaram nos resultados.

Tabela 2 - Média e desvio padrão dos ensaios de flexão obtidos para cada tipo de blenda.

Amostra	Material	Resistência Máxima (MPa)*	Módulo de Elasticidade (MPa)*
1	B0RT-3AM/50-50	20,87 ± 0,17 ^a	608,21 ± 16,18 ^a
2	C10RT-3AM/50-50	14,44 ± 0,90 ^{cd}	358,02 ± 61,39 ^b
3	C10RT-6AM/50-50	18,63 ± 0,31 ^{ab}	562,00 ± 19,51 ^a
4	C20RT-6AM/50-50	12,28 ± 0,27 ^d	312,32 ± 8,20 ^b
5	PP	16,58 ± 0,09 ^{bc}	278,62 ± 1,54 ^b
6	PE	15,15 ± 0,33 ^c	271,00 ± 2,15 ^b

*Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si no nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Autoria própria

De acordo com os resultados da Tabela 2 pode ser observado que a mistura contendo PP/PE em igual proporção e sem RT, ou seja, a B0RT-3AM/50-50, apresentou aumento de 25% e 37% da resistência à flexão e de 118% e 124% do módulo de elasticidade quando comparada aos moldados de PE e de PP isoladamente.

Considerando os moldados contendo os resíduos de tênis (RT) pode ser observada que a utilização de 10% de RT nas composições apresentou os melhores resultados de resistência à flexão, principalmente, quando a proporção de AM foi aumentada de 3% para 6% na formulação. O aumento comparado aos moldados de PE e de PP isoladamente foi de 12% e 25% respectivamente da resistência à flexão e de 101% e 107% do módulo de elasticidade.

Porém, quando a proporção de RT foi aumentada para 20% (Tabela 2 e Figura 1a), resultando o compósito C20RT-6AM/50-50, pode ser observada uma diminuição da resistência à flexão.

Nos resultados da resistência máxima, a análise de variância evidenciou uma interação significativa entre os polímeros sem tratamento e o agente compatibilizante AM presentes nas amostras com 10% de RT. No módulo de elasticidade evidenciam-se 2 grupos de estudo

estatisticamente diferentes, sem associações entre as amostras nem grupos intermediários. Separando assim as amostras com melhor desempenho no módulo de elasticidade do resto.

De acordo com os resultados da Figura 1a pode ser observado que o material moldado que apresentou os melhores resultados, considerando a incorporação dos 3 tipos de materiais, foi o compósito C10RT-6AM/50-50, o qual apresentou o valor de 18,63 MPa de resistência à flexão e 562MPa de módulo de elasticidade.

Figura 1 - Resultados de (a) resistência máxima à flexão e (b) módulo de elasticidade dos compósitos moldados.



Fonte: Autoria própria

Na Figura 1b, pode-se observar que a incorporação do AM influenciou expressivamente no aumento do módulo de elasticidade, quando comparado aos compósitos contendo a mesma quantidade de RT (C10RT-3AM/50-50 vs C10RT-6AM/50-50).

No caso da mistura com menor proporção de RT e AM, ou seja, C10RT-3AM/50-50 os resultados apresentam maior desvio padrão nas propriedades de resistência à flexão e no módulo de elasticidade quando comparadas aos outros moldados, provavelmente devido à baixa adesão ocorrida com a adição de 10% de RT na blenda PE/PP e o uso de apenas 3% do agente de acoplamento, anidrido maleico (AM).

Já o compósito C10RT-3AM/50-50, no qual foi utilizado 6% de AM com 10% de RT na blenda PE/PP pode-se inferir que a utilização de AM melhorou a adesão interfacial da matriz blenda PE/PP com os RT, resultando em melhorias em relação à resistência a flexão e módulo de elasticidade em solicitação por flexão. Resultados similares foram apresentados por AYAZ, DANESHPAYEH e NOROOZI (2016) que obtiveram um aumento simultâneo da resistência à flexão no seu estudo, quando tentaram maximizar a resistência à flexão de nanopartículas de polipropileno / polietileno linear de baixa densidade/dióxido de titânio / estireno-etileno-butileno-estireno (PP/LLDPE/TiO₂/SEBS) otimizando simultaneamente LLDPE, TiO₂ e SEBS. O aumento simultâneo da resistência à flexão alcançado foi de 33,85% sob condições ótimas dos materiais virgens, ou seja, 40% em massa de LLDPE, 2% em massa de TiO₂ e 6% em massa de SEBS. No estudo de HASSAN, WAHIT e CHEE, (2003) é descrito como a incorporação de HVA-2 (N,N-m-fenileno-bismaleimida) como agente de acoplamento na mistura ternária melhorou o alongamento na ruptura, mas não houve alteração significativa nos valores de resistência máxima em flexão. Os autores misturaram PP, borracha natural e polietileno linear de baixa densidade (PP / NR / LLDPE). O teor de borracha na mistura ternária foi de 10% e 20%, com o teor de LLDPE fixado em 25% do teor total de plásticos.

4. Conclusão

Neste trabalho foram moldados compósitos de matriz da blenda PE/PP com diferentes porcentagens de resíduo de tênis (RT), através do processo de moldagem injeção-extrusão, indicando a viabilidade de reciclagem dos materiais em aplicações alternativas, baseados nas propriedades mecânicas do estudo.

No ensaio mecânico de flexão, conclui-se que a diminuição do RT ocasionou aumento na resistência à flexão da mistura. Quanto a incorporação do AM, foi observado um aumento significativo no módulo de elasticidade e na resistência à flexão da matriz blenda PE/PP com RT, quando a proporção do AM foi aumentada de 3 para 6% no compósito moldado.

Assim, o compósito C10RT-6AM/50-50 apresentou melhor desempenho mecânico, com resistência máxima em flexão equivalente a 18,63 MPa.

Por fim, este estudo verificou a viabilidade da moldagem e a reintrodução destes tipos de materiais reciclados na cadeia produtiva, contribuindo para a economia circular. No caso, os materiais moldados podem ser aplicados em pisos, paredes, materiais de escritório, jardinagem e componentes automotivos, reduzindo o volume de resíduos descartados e, assim, minimizando o impacto ambiental que poderiam causar.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Sinctronics pela parceria e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil, código de financiamento 001.

Bibliografia

AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. **Waste Management**, v. 29, n. 10, p. 2625–2643, 2009.

ARANDES, J. M.; BILBAO, J.; VALERIO, D. L. Reciclado de resíduos plásticos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 5, n. 1, p. 28–45, 2004.

AYAZ, M.; DANESHPAYEH, S.; NOROOZI, A. Enhancing the impact and flexural strength of PP/LLDPE/TiO₂/SEBS nano-composites by using Taguchi methodology. **Composites Science and Technology**, v. 129, p. 61–69, 2016.

CUCCHIELLA, F. et al. Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 263–272, 2015.

DEARMITT, C.; ROTHON, R. **22 Dispersants and Coupling Agents**. Second Edi ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2017.

GOUD, V. et al. Influence of various forms of polypropylene matrix (fiber, powder and film states) on the flexural strength of carbon-polypropylene composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 166, n. May 2018, p. 56–64, 2019.

GRIGORE, M. Methods of Recycling, Properties and Applications of Recycled Thermoplastic Polymers. **Recycling**, v. 2, n. 4, p. 24, 2017.

HASSAN, A.; WAHIT, M. U.; CHEE, C. Y. Mechanical and morphological properties of PP/NR/LLDPE ternary blend—effect of HVA-2. **Polymer Testing**, v. 22, n. 3, p. 281–290, maio 2003.

KATE, A. S.; BASAVARAJU, K. C. A simple potentiometric titration method for estimation of maleic anhydride in high molecular weight styrene-maleic anhydride copolymer. **Polymer Testing**, v. 65, n. November 2017, p. 369–373, 2018.

LAZAREVIC, D. et al. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 2, p. 246–259, 2010.

LEE, M. J.; RAHIMIFARD, S. An air-based automated material recycling system for postconsumer footwear products. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 90–99, 2012.

LIN, G.-G. et al. Evaluate the Nonlinear Viscoelasticity of Polyolefin Melts Using the Larson Model. **Polymer Engineering and Science**, v. 47, n. 22, p. 935068, 2014.

MIANDAD, R. et al. Effect of plastic waste types on pyrolysis liquid oil. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 119, p. 239–252, 2017.

MOURAD, A. H. I. Thermo-mechanical characteristics of thermally aged polyethylene/polypropylene blends. **Materials and Design**, v. 31, n. 2, p. 918–929, 2010.

OLIVEIRA, A. D. DE et al. **Efeito da concentração do grupo anídrido maleico do compatibilizante na morfologia e propriedades mecânicas de nanocompósitos de blendas PA6/AES.** (21° CBECIMAT, Ed.)21° CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014

OLIVEIRA, J. A. S. A.; MORAIS, V. M. F.; MONTE, M. J. S. Thermodynamic properties of phase transitions of phenyl derivatives of maleic anhydride and oxazole. **Journal of Chemical Thermodynamics**, v. 131, p. 489–494, 2019.

ONWUDILI, J. A.; INSURA, N.; WILLIAMS, P. T. Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 86, n. 2, p. 293–303, 2009.

PLASTICSEUROPE. **Plastics – the Facts 2018**. Brussels – Belgium: [s.n.]. Disponível em:
<www.plasticseurope.org>.

SIMON, B. What are the most significant aspects of supporting the circular economy in the plastic industry?
Resources, Conservation and Recycling, v. 141, n. October 2018, p. 299–300, 2019.

SOTO, J. M. et al. A real case study of mechanical recycling as an alternative for managing of polyethylene plastic film presented in mixed municipal solid waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 203, p. 777–787, 2018.

SURESH, S. S.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Effect of nitrile rubber on mechanical, thermal, rheological and flammability properties of recycled blend. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 123, p. 370–378, 2019.

TAI, C. M.; LI, R. K. Y.; NG, C. N. Impact behaviour of polypropylene / polyethylene blends. **Polymer Testing**, v. 19, p. 143–154, 2000.

VILAPLANA, F.; KARLSSON, S. Quality concepts for the improved use of recycled polymeric materials: A review. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 293, n. 4, p. 274–297, 2008.

YIN, S. et al. Mechanical Reprocessing of Polyolefin Waste: A Review. **Polymer Engineering and Science**, v. 55, n. 12, p. 21–25, 2015.