



# RECICLAGEM DE MATERIAIS POLIMÉRICOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Keila Machado de Medeiros<sup>1</sup>  
Carlos Antônio Pereira de Lima<sup>2</sup>

## INTRODUÇÃO

A reciclagem consiste em um processo de transformação de materiais, previamente separados, de forma a possibilitar a sua recuperação. Esses materiais podem ter duas origens, de rejeitos de processo industrial ou de produto pós-consumo. Os resíduos são recuperados por meios de uma série de operações que permitem que materiais já processados sejam aproveitados como matéria-prima no processo gerador ou em outros processos (DIAS, 2016).

Segundo a Sociedade Americana de Ensaio e Materiais (ASTM), os tipos de reciclagem de materiais poliméricos englobam a divisão de reciclagem primária, reciclagem secundária, reciclagem terciária e reciclagem quaternária (FRAGA, 2014).

Na reciclagem primária, a matéria-prima é de fonte absolutamente confiável e limpa, como no caso, de resíduos da indústria de polímeros. O processo utilizado normalmente envolve a seleção dos resíduos, moagem (após o material adquirir o formato de floco), secagem e reprocessamento em equipamentos como extrusoras e injetoras (PIVA e WIEBECK, 2004). E no caso de filmes polímeros, pode haver uma etapa extra de aglutinação, necessária para aumentar a densidade dos flocos e torná-los mais aptos ao reprocessamento. O produto final é o material reciclado com propriedades semelhantes à resina virgem.

Na reciclagem secundária, a matéria-prima é proveniente de resíduos sólidos urbanos e o processo também se baseia em seleção, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento, incluindo aglutinação no caso de filmes. A matéria-prima da reciclagem secundária pode ser eventualmente de resíduo industrial, porém, por definição, o produto final é um material reciclado com propriedades inferiores a resina virgem (PIVA e WIEBECK, 2004).

Na reciclagem terciária é quando o processo utilizado para reciclar o polímero é baseado na despolimerização, ou seja, no nível químico, é promovida a decomposição química controlada do material, tendo como produtos, oligômeros, monômeros e substâncias

---

<sup>1</sup> Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, [keilamedeiros@ufrb.edu.br](mailto:keilamedeiros@ufrb.edu.br); Professora da UFRB;

<sup>2</sup> Professor orientador: Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba – UFPB - PB, [caplima@uepb.edu.br](mailto:caplima@uepb.edu.br); Professor da UEPB – PB.



de baixa massa molar, que posteriormente poderão ser submetidos a novos processos de polimerização, processamento, industrialização e utilização (PIVA e WIEBECK, 2004).

Na reciclagem quaternária é quando o processo de reciclar o polímero é baseado na sua combustão, visando o aproveitamento do seu conteúdo energético. Os produtos finais são a energia e a emissão gasosa, notadamente dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), quando ocorre a combustão completa (PIVA e WIEBECK, 2004).

De acordo com a ASTM, devido à necessidade em se mencionar o processo, difundiu-se outra classificação, que divide a reciclagem de polímeros em reciclagem mecânica, reciclagem química e reciclagem energética. A reciclagem mecânica é quando o polímero passa por etapas de seleção, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e reprocessamento, dando origem ao grânulo ou uma peça polimérica reciclada. Pode envolver aditivação do polímero, visando à melhoria de suas propriedades finais. As propriedades do reciclado pode ou não ser semelhantes às da resina virgem, isso dependerá de uma série de fatores, como qualidade de cada etapa do processo e da matéria-prima utilizada (PIVA e WIEBECK, 2004). A reciclagem química é quando o polímero passa pela despolimerização, visando à destruição da estrutura polimérica, inclusive da cadeia principal. Já o processo de reciclagem energética é quando o polímero passa pela combustão. O polímero não deixa de ser despolimerizado, porém não há ênfase nesses produtos, e sim na energia despreendida no processo total (PIVA e WIEBECK, 2004). Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo descrever sobre os tipos reciclagem de materiais poliméricos, levando em consideração as características intrínsecas e físico-químicas dos polímeros.

## **METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)**

Para a elaboração deste trabalho utilizou-se inicialmente a leitura de livros didáticos referentes ao tema abordado, além de artigos científicos específicos dentro da temática publicada nos últimos anos, buscando um embasamento teórico, conhecendo melhor a reciclagem de materiais poliméricos, levando em consideração os tipos de reciclagem (mecânica, química e energética) existentes.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A geração de resíduos poliméricos apresentam três aspectos: o volume crescente, a complexidade e a poluição ambiental. A reciclagem vem com o intuito de diminuir a quantidade destes resíduos, consistindo em um processo de transformação de materiais,



previamente separados, de forma a possibilitar a sua recuperação. Esses materiais podem ter duas origens, no caso de rejeitos de processo industrial ou de produto pós-consumo.

A tendência mundial é reciclar ao máximo os materiais poliméricos e incinerar o restante para recuperar energia na forma de vapor ou eletricidade. Os materiais utilizados em embalagens flexíveis, por exemplo, são de formulação complexa e composta por diferentes polímeros de difícil separação, têm como única alternativa, até o momento, a incineração com aproveitamento energético (PIVA e WIEBECK, 2004). A seguir, serão discutidos os três processos de reciclagem convencional, desde a matéria-prima até os seus produtos e subprodutos.

O resíduo pode ser dividido em dois tipos: industriais e pós-consumo, as etapas que a constituem são a moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação. Na reciclagem mecânica de resíduos industriais, as operações unitárias mais empregadas são a moagem e extrusão, que podem ser utilizados no processo de aglutinação. A vantagem do uso de resíduos industriais reside na composição polimérica, geralmente definida sem variações, por baixa contaminação. Os processos de lavagem e secagem podem ser eliminados dependendo do estado do resíduo. A sua desvantagem, está na dificuldade de se conseguir esse material, pois os resíduos industriais são muito disputados (PIVA e WIEBECK, 2004).

O produto descartado é enviado para um moinho que tem função de triturar o material. Facilita a alimentação e a limpeza e o material é enviado para a lavagem que utiliza água para remover as impurezas do material (PIVA e WIEBECK, 2004). A moagem pode deixar resíduos na forma de borra. Após a lavagem, o material é enviado para a secagem que tem a função de remover o excesso de água. Aumentar a densidade aparente do material, melhorando e/ou possibilitando o fluxo no funil alimentador da extrusora e na alimentação da rosca.

A aglutinação e a secagem ocorrem pelo atrito das faces com o material que é direcionado para a extrusora que tem a função de conformar o material polimérico. Durante a reciclagem de material impuro, a mesma deve possuir uma tela para reter as impurezas. O material polimérico é conformado na forma de fibra, que podem ser cortadas pela extrusora com corte na cabeça, ou o material pode ser enviado para um granulador que tem a função de picotar e granular as fibras, para serem armazenados em silos e ensacados com o auxílio de uma balança para a pesagem do material (PIVA e WIEBECK, 2004).

A reciclagem mecânica de resíduos pós-consumo necessita, de lavagem cuidadosa após a moagem, a fim de prevenir danos aos equipamentos pela presença de materiais estranhos ao processo de outras resinas. A vantagem de sua utilização em relação ao resíduo industrial



consiste na facilidade de obtenção e de baixo custo, as desvantagens são a contaminação e a pré-seleção de materiais. Os maiores problemas referem-se à contaminação da água de lavagem e a falta de fonte de suprimento regular e confiável de material para o processamento (PIVA e WIEBECK, 2004). A diferença fundamental entre o processo de reciclagem com resíduos pós-consumo e resíduos industriais é que neste último, as etapas de lavagem e secagem não são realizadas.

A reciclagem mecânica é a mais difundida, pois não necessita de muita tecnologia para implementá-la, sendo reciclagem mais empregada para polímeros termoplásticos, mas também poderá ser empregada para borrachas, dependendo da sua composição (CERQUEIRA, 2008). Atualmente, a reciclagem mecânica é a opção mais promissora do ponto de vista econômico e ambiental (MARIS et al., 2018).

A reciclagem energética consiste na compactação dos resíduos e subsequente queima, gerando energia, resíduos sólidos e gasosos. Este processo é baseado no alto poder calorífico dos polímeros, utilizando-os como combustíveis sintéticos. Os resíduos gasosos passam inicialmente por filtros ou precipitadores eletrostáticos para a remoção de material particulado e as partículas mais finas existentes no gás material particulado com  $2,5 \mu\text{m}$  de diâmetro de partículas ( $\text{MP}_{2,5}$ ). Posteriormente, esses resíduos gasosos passam por lavadores de gás, para a remoção dos gases ácidos à base de enxofre e nitrogênio por meio de pulverização de água, resultando em um gás limpo, gerando um efluente líquido de ácido com  $\text{MP}_{2,5}$ , que tem maior facilidade de tratamento (GOMES, 2010; VESILIND e MORGAN, 2011).

Os resíduos gasosos são tratados de forma a reduzir a toxicidade dessas emissões, os sólidos (subproduto da queima) recebem destinação diferenciadas e adequadas, conforme o país que utiliza este processo e a energia térmica gerada é recuperada sob a forma de vapor ou eletricidade. Este tipo de reciclagem é conhecida como pirólise, quando a decomposição térmica é realizada em ausência de oxigênio e temperaturas controladas ( $760$  a  $1400^\circ\text{C}$ ), é chamada de incineração quando a fragmentação térmica é realizada por oxidação. A pirólise tem como produto resíduo gasoso e o óleo de pirólise. Já a incineração têm resíduos sólidos (cinzas), resíduos gasosos e energia (MANO, PACHECO e BONELLI, 2010).

A reciclagem energética do poliuretano (PU) envolve a incineração com recuperação de energia. A incineração tem papel importante entre as formas de reciclagem dos plásticos pós-consumo. A incineração do PU é realizada normalmente em incineradores de resíduos sólidos municipais, sistemas de aquecimento domésticos, formas de indústrias de cimento e em meios de transporte, como combustível (junto ou não ao carvão) para produzir energia em



incineradores de resíduos especiais (mono-combustão) e na metalurgia como agente redutor do óxido de ferro (PIVA e WIEBECK, 2004). Esta reciclagem é aconselhada para resíduos complexos (termorrígidos, borrachas e compósitos) ou que necessitem de cuidados especiais de descartáveis médico-hospitalares, embalagens de óleos, entre outros (CERQUEIRA, 2008).

A reciclagem química pode resultar tanto em uma substância combustível, quanto em um produto químico a ser utilizado para a síntese do polímero que lhe deu origem. Existem vários processos para a decomposição química de polímeros que resultam em espécies monoméricas. O processo de reciclagem química quando denominado quimólise, se refere a uma despolimerização aplicável a polímeros produzidos por condensação, como poliésteres (por exemplo, PET), poliamidas (náilons) e polímeros produzidos por adição como o PU. Na quimólise, os polímeros são decompostos até suas moléculas originais ou intermediárias dos produtos petroquímicos que os originais, o que possibilita a sua reutilização na produção de novos polímeros ou como reciclados energéticos, ou seja, óleo combustível. A reciclagem química pode ser realizada sob três caminhos distintos (PIVA e WIEBECK, 2004).

No processo chamado hidrólise utiliza-se vapor d'água a alta temperatura para a quebra das ligações dos polímeros, obtendo como resultado polióis. Os polímeros com grupos funcionais ésteres são facilmente decompostos por reações de hidrólise possibilitando, inclusive a recuperação dos segmentos dos polímeros na forma dos próprios reagentes de polimerização, isto é álcool ou ácido. A aminólise é a reação entre uma amina e um polímero, por exemplo, PU, obtendo-se como resultado aminas, polióis e oligômeros de uréia substituída. A glicólise é a conversão dos reagentes do próprio produto (como o PU) e glicóis, os compostos hidroxilados e dependendo da natureza química dos resíduos do polímero podem ser produzidas algumas aminas aromáticas que também podem ser convertidas em aminas hidroxiladas (PIVA e WIEBECK, 2004; WIEBECK e HARADA, 2005).

Dentre os processos desenvolvidos de reciclagem química, a decomposição química do PET é bastante conhecida, produzindo espécies monoméricas, além de polióis, ou produtos de decomposição ou despolimerização podem ser reutilizados para a polimerização (ou repolimerização) do próprio PET. Os catalisadores para decomposição do PET podem ser ácidos (ácido sulfúrico) ou bases (hidróxido de amônio). Um catalisador ácido promove a hidrólise em temperatura entre 60 e 160 °C em um intervalo de tempo entre 10 e 30 minutos (PIVA e WIEBECK, 2004). No entanto, são processos que possuem custos, relativamente altos, devido à sua sofisticação, assim como a necessidade de reagentes químicos para implementá-la (CERQUEIRA, 2008).



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de materiais poliméricos é uma forma encontrada para lidar com o problema de descarte, transformando o resíduo em matéria-prima, reintegrando-o ao processo produtivo. Esse processo se apresenta não só como uma ferramenta para a economia de recursos naturais não renováveis, mas também na preservação do meio ambiente, reduzindo a quantidade de resíduo gerado. Embora a reciclagem apresente muitas vantagens, a decisão de reciclar um determinado resíduo deve ser precedida de um estudo de viabilidade econômica, que deve considerar alguns aspectos: a proximidade, do local de geração em relação ao local de recuperação do resíduo, o volume de resíduo gerado disponível para a reciclagem, os custos das etapas de preparo do resíduo antes do processamento, a existência de demanda do mercado e de tecnologia apropriada, bem como o custo do processamento e transformação do resíduo em um novo produto sem prejuízos de suas propriedades. Portanto, ficou constatado que a escolha adequada do tipo de reciclagem (mecânica, química e energética) vai depender das características intrínsecas e físico-químicas do polímero escolhido para ser submetido ao processo de reciclagem.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Materiais poliméricos, Sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

- CERQUEIRA, V. Reciclagem de Polímeros: Questões Sócio-ambientais em Relação ao Desenvolvimento de Produtos. **Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design** p. 1-15, 2008.
- DIAS, J. C. **Rotas de Destinação dos Resíduos Plásticos e seus Aspectos Ambientais: Uma Análise da Potencialidade da Biodegradação**. Dissertação de Mestrado em Planejamento Energético/COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- FRAGA, S. C. L. **Reciclagem de Materiais Plásticos: Aspectos Técnicos, Econômicos, Ambientais e Sociais**. 1ª. Edição. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2014.
- GOMES, J. **Poluição Atmosférica: Um Manual Universitário**. 2ª ed. Pubindústria, 2010.
- MARIS, J.; BOURDON, S.; BROSSARD, J-M.; CAURET, L.; FONTAINE, L.; MONTEBAULT, V. Mechanical Recycling: Compatibilization of Mixed Thermoplastic Wastes. **Polymer Degradation and Stability**, v. 147, p. 245-266, 2018.
- MANO, E. B.; PACHECO, É. B. A. V.; BONELLI C. M. C. **Meio Ambiente Poluição e Reciclagem**. 2a edição, Editora Blucher, São Paulo, 2010.
- PIVA, A. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem do Plástico: Como Fazer da Reciclagem um Negócio Lucrativo**. 1a edição, Artliber Editora, São Paulo, 2004.
- VESILIND, P. A.; MORGAN, S. M. **Introdução à Engenharia Ambiental. Tradução da 2a edição norte-americana**. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
- WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações**. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005.