

Poliolefinas recicladas pós-consumo: pontos a considerar

*Luis Eduardo Silva Nascimento
Fiorella B. H. Dantas
Marisa Padula
Pesquisadores do Cetea*

A produção global de plásticos, desde o início dos anos 2000, dobrou, atingindo quase 400 milhões de toneladas métricas por ano em 2021 (Statista, 2024). Esse aumento ocorreu devido os materiais plásticos, como embalagens, materiais de construção, eletrônicos, dispositivos biomédicos, entre outros, terem uma ampla aplicabilidade na sociedade (Jehanno *et al.*, 2022). Além disso, com o aumento da produção de plásticos, surgem problemas relacionados ao descarte. Por exemplo, nas praias e nos oceanos são encontradas grandes quantidades de plástico, incluindo, em ordem decrescente, garrafas de bebidas plásticas, tampas de garrafas plásticas, sacolas plásticas de supermercado, outras sacolas plásticas e recipientes de alimentos plásticos, de acordo com o *International Coastal Cleanup* (ICC), um dos maiores esforços voluntários do mundo dedicado à saúde dos oceanos (Statista, 2024).

Por outro lado, vale ressaltar que o plástico possui muitas vantagens, como durabilidade, resistência e versatilidade. No entanto, a taxa de reciclagem não é comparável à taxa de produção. Isso pode criar um desequilíbrio na produção, resultando no acúmulo de resíduos plásticos (Jehanno *et al.*, 2022). Em um estudo investigando diferentes tipos de plásticos no meio ambiente, o polietileno (PE) e o polipropileno (PP) foram os principais materiais encontrados (Schwarz *et al.*, 2019).

PE e PP são polímeros termoplásticos derivados do petróleo, que são obtidos a partir de unidades de olefinas sintetizadas pelo craqueamento de matérias-primas de petróleo ou pela desidrogenação de alcanos, quebra de ligações duplas ou pi-carbono em alcanos orgânicos complexos, transformando essas moléculas em hidrocarbonetos mais simples (Jones *et al.*, 2021; Jubinville *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022). Esses polímeros são amplamente aplicados em materiais de embalagem de alimentos (Jones *et al.*, 2021; Jubinville *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2022), e são classificados como poliolefinas (PO) e, particularmente o PE, pode ser dividido em outras conformações estruturais, incluindo PEAD (polietileno de alta densidade), PEBD (polietileno de baixa densidade) e PEBDL (polietileno linear de baixa densidade) (Zhang *et al.*, 2022). Cada conformação do PE apresenta diferenças no equilíbrio de propriedades, uma vez que são sintetizadas com diferentes pesos moleculares e arquiteturas de cadeia (Kurtz, 2016).

Quimicamente, a estrutura de cada polímero pode influenciar diretamente na degradação de cada material. Por exemplo, o PP possui um nível de degradação mais difícil do que o PE, devido às suas estruturas químicas. Além disso, o PEAD é mais difícil de ser degradado do que o PEBD ou o PEBDL, devido à alta densidade e cristalinidade desses polímeros (Zhang *et al.*, 2022). Adicionalmente, a degradação está ligada à espessura do material, o que pode resultar em tempos de degradação ambiental mais longos (Chamas *et al.*, 2020). Entre esses polímeros, o PEAD é o material mais comumente reciclável ou reciclado, seguido pelo PEBD (Yang *et al.*, 2024).

Nesse contexto, a reciclagem se torna uma metodologia atraente para recuperar os valores desses produtos. Assim, métodos de reciclagem, como termo-mecânicos e químicos, são utilizados para agregar valor a esses produtos e dar a eles um novo uso. Além disso, a recuperação de energia e o reuso podem ser considerados como possíveis utilizações (Jubinville *et al.*, 2020). Especificamente na Europa, a diretiva 2018/852 estabelece que até 2025, a taxa de reciclagem de embalagens plásticas deve ser de pelo menos 50% (Strangl *et al.*, 2021).

O requisito crucial contemporâneo para obtenção de PO reciclados pós-consumo (PCR-PO) compreende dois passos, incluindo o conhecimento da composição química do PCR-PO e o desenvolvimento de um sistema capaz de remover as substâncias não intencionalmente adicionadas (NIAS) do PCR-PO (Vera *et al.*, 2023).

Assim, para garantir a segurança das PCR-PO, a Europa definiu algumas legislações as quais esse material deve atender. Essas legislações incluem o Regulamento (CE) nº 1935/2004, o Regulamento da Comissão (UE) nº 10/2011 e o Regulamento da Comissão (UE) nº 2022/1616 sobre materiais plásticos reciclados e artigos destinados a entrar

em contato com alimentos (Vera *et al.*, 2023). Nessas regulamentações, limites específicos de migração estão disponíveis junto com parâmetros para realizar os ensaios de migração. Esses limites são estabelecidos para aditivos e iniciadores que são previamente autorizados. Enquanto as Nias, que compreendem impurezas presentes em substâncias autorizadas utilizadas nos plásticos, tal como produtos formados durante a sua fabricação, não há exigências de autorização para uso. Entretanto, a presença de Nias devem ser avaliadas enquanto ao risco à saúde humana, de acordo com padrões aceitos internacionalmente (Comissão Europeia, 2024).

Os desafios para aplicar PCR-PO em embalagens de alimentos compreendem algumas barreiras, incluindo (1) características mecânicas limitadas, (2) características funcionais, (3) opções limitadas de design de cores e (4) odor indesejável (Strangl *et al.*, 2021).

Especificamente entre os métodos de reciclagem, o processo mecânico se destaca como o mais comum e amplamente utilizado em todo o mundo, compreendendo cerca de 90% dos resíduos reciclados (Chen & Hu, 2024a). Entretanto, para embalagens destinadas ao contato com alimentos, esse processo de reciclagem enfrenta desafios que precisam ser superados, como processos anteriores à chegada do material a ser reciclado à indústria de reciclagem, bem como nos processos internos da indústria, ou seja, processos eficientes de limpeza do material (Chen & Hu, 2024b).

De acordo com a Comissão Europeia, os contaminantes químicos são as substâncias de maior preocupação, uma vez que a contaminação microbiológica geralmente não é um problema devido ao processo de reciclagem que utiliza altas temperaturas, o que pode mitigar contaminações adicionais (Comissão Europeia, 2024). No entanto, durante o processo de reciclagem, algumas etapas podem impactar o produto final. Por exemplo, a origem desconhecida do plástico pode dificultar o processo de reciclagem, pois, ao longo do tempo, o plástico pode sofrer degradação, formando possíveis substâncias não intencionalmente adicionadas. Outra preocupação crítica inclui o uso inadequado de plásticos, que podem ser utilizados para armazenar substâncias perigosas. Além disso, a coleta não específica desses resíduos, incluindo plásticos não adequados para contato com alimentos, pode contaminar plásticos que poderiam ser destinados à reciclagem para uso alimentício (Comissão Europeia, 2024).

Uma observação especial precisa ser feita quando o material é composto por mais de um polímero, já que a temperatura de fusão de cada um é diferente. Isso pode resultar na degradação do polímero que tem o ponto de fusão mais baixo, uma vez que é necessário utilizar, durante o processo, a temperatura do polímero que tem o ponto de fusão mais alto. Assim, contaminantes podem ser criados na composição final dos materiais reciclados (Ragaert *et al.*, 2017).

Ainda em um esforço para descontaminar e buscar um processo eficiente para as características físico-químicas do material, diversos estudos têm procurado otimizar seus parâmetros de processamento durante o processo de reciclagem mecânica (Evens *et al.*, 2019; Gu *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2017; Mehat & Kamaruddin, 2011; Picuno *et al.*, 2020; Soto *et al.*, 2018; Strangl *et al.*, 2018, 2019; Welle, 2014, 2016). Entre esses parâmetros otimizados, destacam-se a coleta, separação, lavagem, secagem e extrusão (Soto *et al.*, 2018).

Embora o processo de otimização possa ser considerado uma ferramenta promissora para melhorar a produção de material reciclado, ainda há escassez de estudos sobre a variação nos parâmetros de processamento (Liu *et al.*, 2017). O insucesso até agora dessas PO recicladas deve-se à falta de tecnologias apropriadas para processar esses polímeros. Além disso, o alto potencial de difusão química é considerado um dos principais obstáculos na fabricação de PO recicladas para materiais de contato com alimentos (Vera *et al.*, 2023).

Comparado ao tereftalato de polietileno (PET), cujo processo de reciclagem está bem estabelecido, as PO apresentam desafios adicionais, incluindo maior capacidade de sorção química, maior difusão de compostos orgânicos pela matriz e maior potencial de migração (Strangl *et al.*, 2019; Vera *et al.*, 2023). Portanto, um simples processo de limpeza não pode ser aplicado a esses materiais, instigando a indústria a buscar soluções inovadoras para superar esses problemas (Strangl *et al.*, 2019).

Assim, muitos estudos têm otimizado técnicas para melhorar propriedades como clareza ou transparência, cor e características mecânicas, juntamente com a eficácia na redução de contaminantes. Para isso, foram desenvolvidas algumas melhorias, incluindo detectores avançados de classificação, procedimentos de lavagem, como o uso de NaOH e detergentes, e extração emergente aplicando fluidos supercríticos (Strangl *et al.*, 2019).

Empresas privadas, como Erema group GmbH e Starlinger & Co. GmbH, apresentaram tecnologia para esses fins, que incluem processos de extrusão, mais especificamente, homogeneização, sistemas de filtração de material fundido e sistemas de desgaseificação (Strangl *et al.*, 2019). Adicionalmente, a empresa Gneuss Kunststofftechnik GmbH recentemente lançou um processo de limpeza para PCR-PEAD, usando uma extrusora e um sistema de vácuo para remoção de contaminantes voláteis (FDA, 2024; Gneuss, 2024).

Além das empresas privadas, centros de pesquisa baseados no modelo de hélice tripla, que incluem parcerias entre empresas privadas, governo e institutos/universidades de pesquisa, no Brasil, têm buscado soluções inovadoras para esse problema, como o CCD – Circula (<https://ccdcircula.org.br/>) (CCD - Circula, 2024).

Muitos são os desafios relacionados à sustentabilidade e à economia circular de embalagens. O Cetea, através do CCD – Circula, está conduzindo projetos com o objetivo de contribuir significativamente para que as soluções propostas sejam tecnicamente viáveis e tragam benefícios ao meio ambiente e melhorias relativas às questões sociais, de modo a apresentarem alternativas mais sustentáveis, que facilitem a logística reversa e promovam uma economia mais circular das embalagens e um pensamento de ciclo de vida aplicado nos processos de produção, comercialização e consumo.

Referências Bibliográficas

- CCD - Circula. (2024). *Home - CCD Circula*. <https://ccdcircula.org.br/>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- CHAMAS, A.; MOON, H.; ZHENG, J.; QIU, Y.; TABASSUM, T.; JANG, J. H.; ABU-OMAR, M.; SCOTT, S. L.; & SUH, S. 2020. Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(9), 3494-3511. https://doi.org/10.1021/ACSSUSCHEMENG.9B06635/ASSET/IMAGES/LARGE/SC9B06635_0009.JPEG. Acesso em: 5 jun. 2024.
- CHEN, S.; & HU, Y. H. 2024a. Advancements and future directions in waste plastics recycling: From mechanical methods to innovative chemical processes. *Chemical Engineering Journal*, 493, 152727. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2024.152727>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- CHEN, S.; & HU, Y. H. 2024b. Advancements and future directions in waste plastics recycling: From mechanical methods to innovative chemical processes. *Chemical Engineering Journal*, 493, 152727. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2024.152727>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- DA SILVA, E. A.; & NETO, J. M. M. 2016. Possibilidades de melhorias ambientais no processo de reciclagem do polietileno. *Polímeros*, 26, 49-54. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.1954>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- DOAN Tran, H.; KIM, C.; CHEN, L.; CHANDRASEKARAN, A.; BATRA, R.; VENKATRAM, S.; KAMAL, D.; LIGHTSTONE, J. P.; GURNANI, R.; SHETTY, P.; RAMPRASAD, M.; LAWS, J.; SHELTON, M.; & RAMPRASAD, R. 2020. Machine-learning predictions of polymer properties with Polymer Genome. *Journal of Applied Physics*, 128(17), 171104. <https://doi.org/10.1063/5.0023759/1062836>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- EUROPEAN COMMISSION. 2024. *Plastic Recycling - European Commission*. https://food.ec.europa.eu/safety/chemical-safety/food-contact-materials/plastic-recycling_en. Acesso em: 5 jun. 2024.
- EVENS, T.; BEX, G.-J.; YIGIT, M.; DE KEYZER, J.; DESPLENTERE, F.; & VAN BAELE, A. 2019. *The Influence of Mechanical Recycling on Properties in Injection Molding of Fiber-Reinforced Polypropylene*. 398-407. <https://doi.org/doi.org/10.3139/217.3770>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- FDA. 2024. *Submissions on Post-Consumer Recycled (PCR) Plastics for Food-Contact Articles*. <https://www.cfsanappsexternal.fda.gov/scripts/fdcc/?set=RecycledPlastics>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- Gneuss. 2024. *Closed Loop Recycling of HDPE - Gneuß*. <https://www.gneuss.com/en/closed-loop-recycling-of-hdpe/>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- GOHIL, S. V.; SUHAIL, S.; ROSE, J.; VELLA, T.; & NAIR, L. S. 2017. Polymers and Composites for Orthopedic Applications. *Materials and Devices for Bone Disorders*, 349-403. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802792-9.00008-2>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- GU, F.; HALL, P.; MILES, N. J.; DING, Q.; & WU, T. 2014. Improvement of mechanical properties of recycled plastic blends via optimizing processing parameters using the Taguchi method and principal component analysis. *Materials & Design (1980-2015)*, 62, 189-198. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2014.05.013>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- JEHANNO, C.; ALTY, J. W.; ROOSEN, M.; DE MEESTER, S.; DOVE, A. P.; CHEN, E. Y. X.; LEIBFARTH, F. A.; & SARDON, H. 2022. Critical advances and future opportunities in upcycling commodity polymers. *Nature* 2022 603:7903, 603(7903), 803-814. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04350-0>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- JONES, H.; SAFFAR, F.; KOUTSOS, V.; & RAY, D. 2021. Polyolefins and Polyethylene Terephthalate Package Wastes: Recycling and Use in Composites. *Energies* 2021, Vol. 14, Page 7306, 14(21), 7306. <https://doi.org/10.3390/EN14217306>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- JUBINVILLE, D.; ESMIZADEH, E.; SAIKRISHNAN, S.; TZOGANAKIS, C.; & MEKONNEN, T. 2020. A comprehensive review of global production and recycling methods of polyolefin (PO) based products and their post-recycling applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 25, e00188. <https://doi.org/10.1016/J.SUSMAT.2020.E00188>. Acesso em: 5 jun. 2024.

- KURTZ, S. M. 2016. A Primer on UHMWPE. *UHMWPE Biomaterials Handbook: Ultra High Molecular Weight Polyethylene in Total Joint Replacement and Medical Devices*, 1-6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-35401-1.00001-6>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- LIU, Y.; FARNSWORTH, M.; & TIWARI, A. 2017. A review of optimisation techniques used in the composite recycling area: State-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1775-1781. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2016.08.038>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- MEHAT, N. M.; & KAMARUDDIN, S. 2011. Optimization of mechanical properties of recycled plastic products via optimal processing parameters using the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(12), 1989-1994. <https://doi.org/10.1016/J.JMATPROTEC.2011.06.014>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- PICUNO, C.; ALASSALI, A.; SUNDERMANN, M.; GODOSI, Z.; PICUNO, P.; & KUCHTA, K. 2020. Decontamination and recycling of agrochemical plastic packaging waste. *Journal of Hazardous Materials*, 381, 120965. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2019.120965>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- RAGAERT, K.; DELVA, L.; & VAN GEEM, K. 2017. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*, 69, 24-58. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2017.07.044>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- SCHWARZ, A. E.; LIGTHART, T. N.; BOUKRIS, E.; & VAN HARMELEN, T. 2019. Sources, transport, and accumulation of different types of plastic litter in aquatic environments: A review study. *Marine Pollution Bulletin*, 143, 92-100. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2019.04.029>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- SOMAYE ALLAHVAISI. 2012. Polypropylene in the Industry of Food Packaging. In F. Dogan (Ed.), *Polypropylene* (pp. 3-22). InTech.
- SOTO, J. M.; BLÁZQUEZ, G.; CALERO, M.; QUESADA, L.; GODOY, V.; & MARTÍN-LARA, M. Á. 2018. 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*, 203, 777-787. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.08.302>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- STATISTA. 2024. *Plastic waste worldwide - statistics & facts* | Statista. <https://www.statista.com/topics/5401/global-plastic-waste/#editorsPicks>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- STRANGL, M.; LOK, B.; BREUNIG, P.; ORTNER, E.; & BUETTNER, A. 2021. The challenge of deodorizing post-consumer polypropylene packaging: Screening of the effect of washing, color-sorting and heat exposure. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105143. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2020.105143>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- STRANGL, M.; ORTNER, E.; & BUETTNER, A. 2019. Evaluation of the efficiency of odor removal from recycled HDPE using a modified recycling process. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 89-97. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2019.03.009>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- STRANGL, M.; SCHLUMMER, M.; MAEURER, A.; & BUETTNER, A. 2018. Comparison of the odorant composition of post-consumer high-density polyethylene waste with corresponding recycled and virgin pellets by combined instrumental and sensory analysis. *Journal of Cleaner Production*, 181, 599-607. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.01.137>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- VERA, P.; CANELLAS, E.; SU, Q. Z.; MERCADO, D.; & NERÍN, C. 2023. Migration of volatile substances from recycled high density polyethylene to milk products. *Food Packaging and Shelf Life*, 35, 101020. <https://doi.org/10.1016/J.FPSL.2022.101020>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- WELLE, F. 2014. Simulation of the Decontamination Efficiency of PET Recycling Processes based on Solid-state Polycondensation. *Packaging Technology and Science*, 27(2), 141-148. <https://doi.org/10.1002/PTS.2013>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- WELLE, F. (2016). Investigation into cross-contamination during cleaning efficiency testing in PET recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 112, 65-72. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2016.05.003>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- YANG, Y.; JALALAH, M.; ALSAREII, S. A.; HARRAZ, F. A.; THAKUR, N.; ZHENG, Y.; KOUTB, M.; YOON, Y.; & SALAMA, E. S. 2024. Plastic wastes (PWs) and microplastics (MPs) formation: Management, migration, and environmental impact. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112926. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2024.112926>. Acesso em: 5 jun. 2024.
- ZHANG, N.; DING, M.; & YUAN, Y. 2022. Current Advances in Biodegradation of Polyolefins. *Microorganisms*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS10081537>. Acesso em: 5 jun. 2024.