

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DE BIOPLÁSTICOS

Danielle F. Carnaúba¹; Poliana N. de Andrade²; Karla de L. Machado³ & Dayana de G. Coêlho⁴

Abstract: Plastic is a low-cost synthetic polymer with numerous uses, from food packaging to pharmaceutical materials. Since 1950, its production has grown exponentially in an attempt to keep up with population growth and rampant industrial consumption, generating increasingly more waste that is improperly disposed of in the environment. The slow and partial decomposition of this waste produces small particles known as microplastics, which contaminate various ecosystems, reaching the human food chain and causing numerous health problems. Seeking a sustainable solution, research into bioplastics has intensified in recent decades, seeking solutions for the use of common plastics and mitigating the problems generated by their improper disposal. Bioplastics are polymers derived from renewable sources, such as starch and cellulose, and are highly degradable under both aerobic and anaerobic conditions. Despite their high cost, bioplastics are gaining ground in the sustainable products market, offering the same advantages as some synthetic products but with a low environmental impact.

However, there is a clear need to develop technologies that reduce production costs and improve their physical and chemical properties, making bioplastics a product more similar to traditional plastic and even more sustainable. In addition, public policies aimed at sustainable education for the population should be implemented, helping to reduce plastic waste. The objective of this research was to gather material on the proposed topic and assess the state of bioplastics manufacturing and use in recent years.

Keywords: Biomass; Renewable Source; Polymers.

Resumo: O plástico é um polímero sintético de baixo custo, que possui inúmeras utilizações, desde de embalagens de alimentos a materiais farmacêuticos. Desde 1950 sua produção vem crescendo exponencialmente, na tentativa de acompanhar o crescimento populacional e o consumo desenfreado da indústria, gerando cada vez mais resíduos descartados de forma inadequada no meio ambiente. A decomposição lenta e parcial destes resíduos, origina pequenas partículas conhecidas como microplásticos que contaminam diversos ecossistemas, chegando à cadeia alimentar do ser humano e causando inúmeros problemas de saúde. Buscando uma solução sustentável, nas últimas décadas pesquisas na área de bioplásticos foram intensificadas na tentativa de oferecer soluções para o uso dos plásticos comuns e mitigar os problemas gerados pelo seu descarte inadequado. Os bioplásticos são polímeros derivados de fontes renováveis, como o amido e a celulose, possuindo alta degradabilidade tanto em condições aeróbicas como anaeróbicas. Apesar do alto custo, os bioplásticos vêm ganhando o mercado de produtos sustentáveis, pois oferecem as mesmas vantagens de alguns produtos sintéticos e baixo impacto ambiental. Contudo, é notório a necessidade de

1) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, (82) 99902-0596, danielle.carnauba@arapiraca.ufal.br
2) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, (82) 99657-2807, poliana.andrade@ctec.ufal.br
3) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, (82) 99937-1070, karla.machado@ctec.ufal.br
4) Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Controle Ambiental, (82) 98222-9437, dayana.coelho@ctec.ufal.br

desenvolvimento de tecnologias que reduzam os custos de produção e melhorem suas propriedades físico-químicas tornando os bioplásticos um produto mais semelhante ao plástico tradicional e ainda mais sustentável. Além da implantação de políticas públicas voltadas para educação sustentável da população, colaborando com a redução de resíduos plásticos. O objetivo dessa pesquisa foi reunir material sobre o tema proposto e avaliar a situação de fabricação e uso dos bioplásticos nos últimos anos.

Palavras-Chave: Biomassa; Fontes Renováveis; Polímeros.

INTRODUÇÃO

Desde a sua criação, no ano de 1907, os plásticos veem sendo utilizados de inúmeras maneiras para atender as diversas necessidades do homem em variadas áreas, substituindo materiais como vidro, metais e madeira. Dados mostram que no ano de 2022 o Brasil produziu 81,8 milhões de resíduos nas áreas urbanas, sendo 30 - 40% destes considerados materiais plásticos. Até 2050 a produção de materiais plásticos poderá chegar a 1100 toneladas/ano, e ocasionar um grande impacto ambiental (Lokesh *et al.*, 2023).

O longo processo de decomposição, a falta de gestão dos resíduos descartados e o descaso com o incentivo a reciclagem, faz com que a quantidade de resíduo plástico cresça consideravelmente, trazendo inúmeros problemas de saúde para o homem, desde problemas respiratórios e cardiovasculares a câncer (Shah *et al.*, 2008; Macedo *et al.*, 2015).

Logo, com o crescente movimento de sustentabilidade mundial, faz-se necessário a criação de produtos de degradação rápida e que não contaminem o meio ambiente. Os bioplásticos gerados de recursos naturais e renováveis tem sido o foco da comunidade científica (Grabowska, 2010).

Produzidos a partir de fontes renováveis, como amido de milho, cana-de-açúcar ou óleos vegetais, esses materiais oferecem uma redução significativa nas emissões de carbono durante sua produção e degradação. Além disso, bioplásticos podem ser compostáveis, facilitando sua decomposição e diminuindo o impacto ambiental pós-consumo. No entanto, é importante ressaltar que ainda existem desafios tecnológicos e questões relacionadas à disponibilidade de matérias-primas em grande escala para a produção desses materiais.

Segundo dados do relatório "Bioplastic Feedstock 2020" da European Bioplastics, a produção de bioplásticos representava apenas 1% do mercado global de plásticos em 2020, indicando a necessidade de mais investimentos e desenvolvimento para expandir sua viabilidade como uma alternativa amplamente adotada.

Com isso, essa pesquisa tem como objetivo reunir material sobre o tema proposto e avaliar a situação de fabricação e uso dos bioplásticos nos últimos anos.

PLÁSTICOS

Em 1907, o primeiro plástico 100% sintético produzido a partir da reação entre o fenol e o formaldeído, foi chamado de Brakeline, suportando temperaturas acima de 300°C, resistente a inúmeros produtos químicos e um perfeito isolante elétrico. Em sua grande maioria os plásticos são derivados de combustíveis fósseis e formados a partir da união de macromoléculas, denominadas polímeros. Dentre eles temos o poliestireno (PS), o polietileno de baixa densidade (LDPE), o polietileno de alta densidade (HDPE), o polipropileno (PP), cloreto de polivinila (PVC) e o tereftalato de polietileno (PET) (Souza *et al.*, 2023).

Devido às suas qualidades mecânicas, durabilidade e baixo custo de produção, seu consumo vem aumentado em larga escala e substituindo diversos materiais como vidro, metais e papéis, nas diversas áreas da indústria. Na tentativa de acompanhar o crescimento populacional, mais de 0,3 bilhão de toneladas de plástico são produzidas anualmente no mundo inteiro, dos quais apenas 1/5

são reciclados ou incinerados, enquanto o resto volta para o ambiente em forma de lixo, mostrando-se um problema em escala mundial. A falta de gestão dos resíduos plásticos acarreta na contaminação dos ecossistemas, amontoando-se em aterros, lixões e oceanos (Lokesh *et al.*, 2023).

Do plástico mundial, apenas 9% é reciclado, 12% são queimados, contribuindo para as emissões de CO₂, e os 79% restantes são encontrados nos oceanos e aterros, ameaçando a vida na terra. Durante a combustão do material plástico são liberados contaminantes prejudiciais à saúde, dentre eles carbonos orgânicos voláteis, furanos, hidrocarbonetos e dioxinas, substâncias que podem causar câncer, doenças respiratórias e cardiovasculares (Stasiskiene *et al.*, 2022).

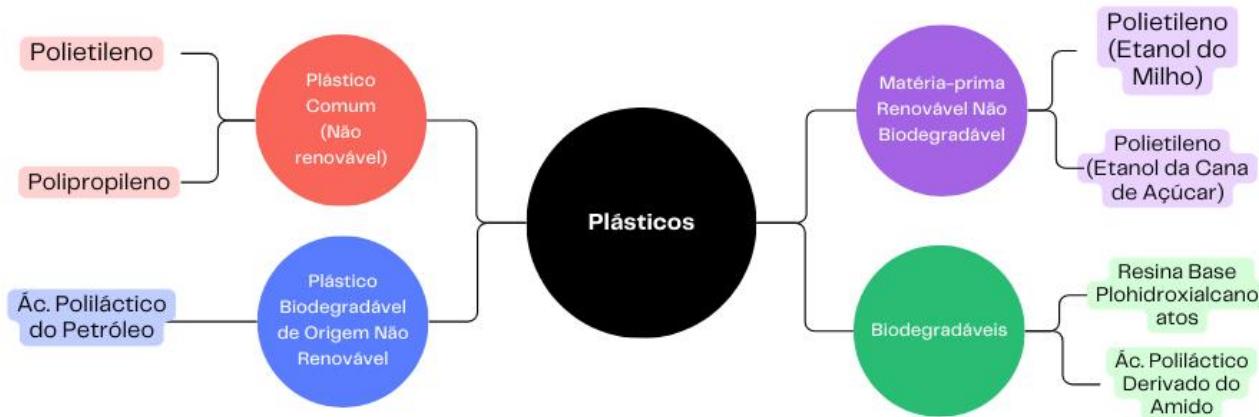
Na natureza, o plástico sofre degradação por meio do intemperismo, ação dos raios UV, variação de temperatura e abrasão física, ficando reduzido a partículas menores, < 5 mm (microplásticos) e < 0,001 mm (nanoplásticos), trazendo perigo para o homem e animais. Os riscos à saúde são inúmeros, estando associados as diversas substâncias nocivas presentes nos plásticos, que uma vez presente no ambiente provocam efeitos físicos e toxicológicos (Fernandes *et al.*, 2022).

O homem chega a ingerir cerca de 0,1 a 0,5g de microplásticos semanalmente, presentes no ambiente e em fontes de alimentos, como peixes por exemplo. A ingestão de microplásticos podem causar danos como falsa saciedade, bloqueios digestivos e lesões do trato gastrointestinal. Os efeitos toxicológicos estão relacionados com liberação de produtos químicos que são desreguladores endócrinos, como o bisfenol A e os ftalatos, presentes nas partículas plásticas, que afetam o sistema imunológico, metabólico e a saúde reprodutiva (Anca e Wallis, 2024).

Estima-se que a produção mundial de materiais plásticos chega a 250 milhões de toneladas, estando a produção brasileira em torno de 6,5 milhões de toneladas, menos de 3% da produção mundial. A falta de gerenciamento desse material traz consigo um prejuízo ambiental e econômico, com perdas anuais que ultrapassam os US\$ 2,00 bilhões segundo o IPEA (Ipea, 2012).

Na tentativa de mitigar esses problemas, novas tecnologias têm sido desenvolvidas como alternativa para substituir os materiais plásticos convencionais. Soluções mais ecológicas, que possuem um menor tempo de degradação, e feito de materiais biodegradáveis de fontes renováveis. Essa tecnologia sustentável tem a intenção de substituir gradativamente os plásticos tradicionais por bioplásticos (Grabowska, 2010; Paulino *et al.*, 2019). Na Figura 1, podemos identificar os materiais plásticos de acordo com sua matéria-prima e biodegradabilidade (Gómez-Estaca *et al.*, 2014).

Figura 1 – Classificação de materiais plásticos



BIOPLÁSTICOS

A principal vantagem dos polímeros biodegradáveis está relacionada ao impacto ecológico devido a sua alta degradabilidade, decompondo-se em dióxido de carbono (CO₂), água, minerais e biomassa (Barnes *et al.*, 2009; Ojeda, 2013). Podem ser usados como embalagens ou revestindo a superfície de alimentos sendo necessário apresentar propriedades mecânicas características dos plásticos comuns, estabilidade microbiológica, não conter agentes tóxicos, auxiliar no tempo de prateleira de alimentos, entre outros (Santana *et al.*, 2018).

Os bioplásticos podem ser classificados em plásticos derivados de base biológica e derivados de materiais biodegradáveis. Aqueles formados a partir de base biológica são constituídos total ou parcialmente de materiais renováveis, como produtos agrícolas constituídos de amido, celulose e lipídeos. Os derivados de materiais biodegradáveis são constituídos de materiais que se decompõem completamente após contato com à água, CO₂, metano e microrganismos (Chan *et al.*, 2020).

Os plásticos biodegradáveis são divididos em 4 grupos a partir da fonte do polímero, conforme descrito na Tabela 1 (Avérous, 2004; Chan *et al.*, 2020).

Tabela 1 – Classificação dos plásticos biodegradáveis

Tipo	Fonte
Agro-Polímeros	Polissacarídeos Amidos: trigo, batata, milho, etc. Lignocelulósicos: madeira, palha, etc. Outros: pectinas, gomas e quitosana
	Proteínas/Lipídios Animal: caseína e colágeno Vegetal: glúten
Microorganismos	Polihidroxialcanoatos e Polihidroxibutiratos
Biotecnologia	Polilactídeos (Ácido Polilácteo – PLA)
Petroquímico	Policaprolactona Poliesteramidas Co-Poliésteres Alifáticos Co-Poliésteres Aromáticos

As características físico-químicas dos bioplásticos, como resistência e tenacidade, permitem que sejam classificados de forma semelhante aos plásticos tradicionais, caracterizados como termofixos, material duro e durável, ou termoplásticos, material menos rígido que os termofixos (Ganesh *et al.*, 2020).

Em relação à segurança alimentícia, alguns bioplásticos podem ser classificados em comestíveis ou não comestíveis. O amido e a gelatina são exemplos de resíduos usados na preparação de bioplásticos que permitem seu uso em embalagens para alimentos e são seguros para consumo humano (Jögi e Bhat, 2020). As diversas características e compósitos dos bioplásticos, permitem esta variedade de classificações e aplicações em inúmeras áreas comerciais. O que tem contribuído para o aumento da sua produção, segundo a European Bioplastics em 2023 foram produzidos 2,18 milhões de toneladas de bioplásticos no mundo, trazendo uma expectativa de crescimento de aproximadamente 68% ao ano, podendo alcançar em 2028 uma produção de 7,43 milhões de toneladas (European Bioplastics, 2023).

Um fator preocupante é a falta de gestão dos resíduos gerados, pois mesmo sendo biodegradáveis, os bioplásticos precisam de uma coleta e tecnologia de reciclagem específicos. Estudos mostram que a reciclagem mecânica e a reutilização são os métodos mais adequados para dar destino aos plásticos de base biológica e biodegradáveis, sendo reutilizados até que suas qualidades físico-químicas não sejam mais eficientes, sendo então enviados para o tratamento de reciclagem química (Lamberti *et al.*, 2020).

A tendência mundial é a sustentabilidade, havendo uma troca gradativa e crescente do uso de plásticos de origem fóssil por plásticos de origem biológica, contudo, é notável que o pensamento não acompanha a ação. O engajamento relacionado a reciclagem de produtos plásticos e uso de plástico biodegradáveis está correlacionado a diferenças culturais e nível de escolaridade. Segundo FILHO *et al.* (2022), os consumidores limitam-se ao uso de bioplásticos por falta de informação sobre o produto e suas propriedades, designs e qualidade insatisfatórios, além da pouca informação sobre os produtos (Filho *et al.*, 2022).

TIPOS DE BIOPLÁSTICOS

Existem diversos tipos de bioplásticos, cada um com características específicas que os tornam adequados para diferentes aplicações. Os bioplásticos podem ser classificados como biodegradáveis e bio-baseados (Santos, 2015).

Os bioplásticos biodegradáveis podem se decompor em condições específicas de ambiente, como compostagem industrial ou doméstica, resultando em subprodutos menos prejudiciais ao meio ambiente. Já os bioplásticos bio-baseados são produzidos a partir de fontes renováveis, mas podem ou não ser biodegradáveis, dependendo do processo de fabricação e dos aditivos utilizados. Dentre os bioplásticos biodegradáveis, destacam-se o PLA (poliácido láctico) e o PHA (polihidroxialcanoatos), ambos derivados de fontes naturais como amido de milho e cana-de-açúcar. Já entre os bioplásticos bio-baseados, estão o PBS (polibutileno succinato), o PBAT (polibutileno adipato-co-tereftalato) e o PLA, que também é biodegradável. Esses materiais oferecem uma variedade de propriedades mecânicas e de barreira, tornando-os adequados para uma ampla gama de aplicações, desde embalagens até componentes automotivos.

Os principais métodos de produção de bioplásticos são a bioconversão e a fermentação, o primeiro realiza a conversão de biomassa em polímeros como o PLA e o PHA, e a fermentação utiliza microrganismos para produzir PHB. Outro método para obtenção de bioplásticos é a síntese a partir de biomassa, utilizando processos químicos para converter biomassa, como celulose, em polímeros (Sergeevna, 2024).

O PLA é composto de ácido láctico produzido a partir da fermentação de polissacarídeos como cana-de-açúcar, amido de milho e outros, sendo considerado o polímero biodegradável mais promissor para substituir os plásticos comuns, devido as suas características físico-químicas e inúmeras aplicações como embalagens alimentícias, agricultura, engenharia, tecidos, peças automotivas, no campo médico e farmacêutico, entre outros. De 2011 a 2020 sua produção global quadruplicou, passando de 200 kt/ano para 800 kt/ano (Abdullah *et al.*, 2018; Balla *et al.*, 2021; Yu *et al.*, 2023).

O PHA é produzido a partir da fermentação bacteriana de substratos orgânicos como efluentes da agroindústria, óleos vegetais, ácidos graxos e outros. Apesar do alto custo, sua produção aumentou de 5,3 milhões de toneladas para 17,0 milhões de toneladas de 2013 a 2020, mostrando ser promissor por possuir características comparáveis aos plásticos derivados do petróleo, como elasticidade, flexibilidade e termoplásticidade, sendo utilizado em diversas áreas da indústria alimentícia, médica, engenharia e agricultura (Abdullah *et al.*, 2019; Mannina *et al.*, 2019; Acharjee *et al.*, 2023)].

Sendo um plástico biodegradável de base fóssil, o PBAT apresenta propriedades semelhantes ao polietileno de baixa densidade, contudo, com baixa resistência. Está entre os bioplásticos mais

utilizados para fabricação de sacolas de compras/lixo e filmes plásticos, tendo China como maior produtor mundial com uma produção de 370 mil toneladas (Coralli *et al.*, 2024; França *et al.*, 2024).

O PBS é produzido a partir de monômeros à base de petróleo, sendo utilizado na fabricação de utensílios que necessitem de uma capacidade de tolerância a altas temperaturas, até 200°C (Muthuraj *et al.*, 2015).

Atualmente, os bioplásticos são mais utilizados em embalagens, devido a limitação junto as suas propriedades mecânicas como transparência e durabilidade, trazendo a necessidade do desenvolvimento de novos produtos biodegradáveis que solucionem esse problema. Pesquisas recentes apresentam-se promissoras com o uso de matérias-primas naturais como: resíduos de conchas de crustáceos, matrizes *E. coli*, queratina, celulose e alginato (Kim e Manjula-Basavann, 2024). O uso da nanoengenharia, com a adição de nanopartículas na produção de novos bioplásticos têm trazido mais resistência física e mecânica aos materiais, assim como a bioengenharia, com a modificação genética sendo utilizada para criar bioplásticos com propriedades ideais (Sergeevna, 2024).

Segundo o artigo "Biodegradable polymers: past, present, and future" de Ghasemi-Mobarakeh (Ghasemi-Mobarakeh *et al.*, 2019), a pesquisa e o desenvolvimento contínuo estão ampliando a gama de bioplásticos disponíveis e melhorando suas propriedades, contribuindo para uma transição mais sustentável no setor de plásticos.

A produção de bioplásticos enfrenta diversos desafios, especialmente no contexto brasileiro, onde há uma rica biodiversidade e um grande potencial para a produção de matérias-primas renováveis. No entanto, há questões a serem enfrentadas para tornar a produção de bioplásticos mais eficiente e escalável (Lima, 2022). Um dos principais desafios é a disponibilidade e a competitividade das matérias-primas. Embora o Brasil seja um dos maiores produtores mundiais de cana-de-açúcar e tenha um grande potencial para o cultivo de outras matérias-primas, como mandioca e soja, é necessário desenvolver cadeias de suprimento robustas e sustentáveis para garantir o fornecimento constante dessas matérias-primas a preços competitivos.

Além disso, a infraestrutura para a produção e processamento de bioplásticos precisa ser aprimorada. Isso inclui investimentos em instalações de produção e tecnologias de processamento que permitam a fabricação eficiente e de alta qualidade de bioplásticos. Também é importante desenvolver métodos de produção mais sustentáveis e de baixo impacto ambiental, visando reduzir o consumo de água e energia, bem como minimizar os resíduos e emissões.

Fontes brasileiras como estudos acadêmicos, relatórios de instituições de pesquisa e artigos de organizações governamentais podem fornecer insights valiosos sobre os desafios específicos enfrentados pela indústria de bioplásticos no Brasil. Por exemplo, o Centro de Tecnologia de Embalagem (CETEA) do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e o Instituto de Química da Universidade de São Paulo (IQ-USP) são importantes centros de pesquisa que têm contribuído com conhecimentos relevantes sobre a produção de bioplásticos no Brasil (Oliveira, 2021).

CONCLUSÃO

Nos últimos anos as pesquisas têm evoluído com foco no desenvolvimento de bioplásticos derivados de recursos renováveis, na tentativa de reduzir a dependência do petróleo e mitigar a poluição ambiental por resíduos plásticos. Salientando sua alta degradabilidade, que facilita o descarte e contribui para preservação ambiental. As novas tecnologias mostram-se promissoras na busca por aumento de produção e melhora da qualidade dos bioplásticos, além das constantes tentativas de redução de custos, utilizando-se de metodologias inovadoras como fermentação, polimerização químico-enzimática, nanoengenharia e engenharia genética.

Contudo, apesar da intensificação na produção e desenvolvimento de novos e melhorados bioplásticos, é nítida a necessidade de políticas públicas voltadas para educação sustentável da

população. O incentivo ao uso de materiais biodegradáveis, irá colaborar com a redução de resíduos plásticos descartados de forma irregular no meio ambiente, e impulsionar a comunidade científica a ampliar suas pesquisas na área, na tentativa de trazer para o consumidor final um produto biodegradável, de qualidade e resistência similar ao plástico comum.

AGRADECIMENTOS – Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento e ao Laboratório de Controle Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. H. D.; FIKRIYYAH, A. K.; PUTRI, O. D.; ASRI, P. P. (2019). *Fabrication and Characterization Of poly Lactic Acid (PLA) – Starch Based Bioplastic Composites*. Materials Science and Engineering.
- ACHARJEE, S. A.; BHARALI, P.; GOGOI, B.; SORHIE, V.; WALLING, B.; ALEMOTOSHI. (2023). *PHA-Based Bioplastic: A Potential Alternative to Address Microplastic pollution*. Water Air Siol Pollut, v. 234, n. 21.
- ANCA, E.D.; WALLIS, J. (2024). *Poluição plástica e interações entre humanos e primatas: uma preocupação crescente de conservação*. Prismas de Cambridge: Plásticos. 2 (10), pp. 1-8.
- AVÉROUS L. (2004). *Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review*. Journal of Macromolecular Science. Cap. 4 (3), pp. 231-274.
- BALLA, E.; DANILIDIS, V.; KOUNTAKOUT, I.; BIKIARIS, D. N. (2021). *Poly (lactic Acid): A Versatile Biobased Polymer for the Future with Multifunctional Properties – From Monomer Synthesis, Polymerization Techniques and Molecular Weight Increase to PLA Applications*. Polymers, v. 13, 1822 p.
- BARNES, D.K.; GALGANI, F.; THOMPSON, R. C.; BARLAZ, M. (2009). *Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments*. R. Soc. Lond. B. Biol. 364 (1526), pp. 1985-1998.
- CHAN, J. X.; WONG, J. F.; HASSAN, A.; ZAKARIA, Z. (2020). *Bioplastics from Agricultural Waste*. Biopolymers and Biocomposites from Agro-Waste for Packaging Applications, v. 8, pp. 141-169.
- CORALLI, I.; ROMBOLÀ, A. G.; FABBRI, D. (2024). *Analytical pyrolysis of the bioplastic PBAT poly (butylene adipate-co-terephthalate)*. Journal pf Analytical and Applied Pyrolysis, v. 181, 10 p.
- EUROPEAN BIOPLASTICS. (2023). *Development Updates* [<https://www.european-bioplastics.org>].
- FERNANDES, A. N.; BERTOLDI, C.; LARA, L. Z.; STIVAL, J.; ALVES, N. M.; CABRERA, P. M.; GRASSI, M. T. (2022). Química Sociedade, v. 33, n. 4.
- FILHO, W.L.; BARBIR, J.; ABUBAKAR, I.R.; PAÇO, A.; STASISKIENE, Z.; HORNBØGEN, M.; FENDT, M.T.C.; VORONOVA, V.; KLÖGA, M. (2022). *Consumer attitudes and concerns with bioplastics use: An international study*. PLoS ONE, n. 17.
- FRANÇA, R. A.; ROSA, A. C. F. S.; BRAZ, C.J. F.; BARBOSA, R.; ALVES, T. S. (2024). *Development of mulch films from biodegradable polymer and agro-industrial waste*. Journal Polímeros, v. 34 (1), 8 p.
- GANESH, K. A.; ANJANA, K.; HINDUJA, M.; SUJITHA, K.; DHARANI, G.; (2020). *Review on plastic wastes in marine environment – Biodegradation and biotechnological solutions*. Marine Pollution Bulletin, v. 150.
- GHASEMI-MOBARAKEH, L.; PRAYAG, A.; BIANCHI, F.; VERDIAN, A. (2019). *Biodegradable polymers: past, present, and future*. Journal of Polymer Science, v. 137, n. 21, p. 1800436.
- GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPES-DE-DICASTILLO, C.; HERNÁNDEZ-UMÑOZ, P.; CATALÁ, R.; GABARA, R. (2014). *Advances in antioxidant active food packaging*. Trends in Food Science & Technology, v. 35, pp. 42-51.

- GRABOWSKA, B. (2010). *Biopolymers – structure, properties and applicability in the foundry industry*. Archives of Foundry Engineering. 8 (1), pp. 51-54.
- IPEA. (2012). *Relatório de Pesquisa*. [<https://portalantigo.ipea.gov.br/portal>].
- JÓGI, K.; BHAT, R. (2020). *Valorization of Food Processing Wastes and By-Products for Bioplastic Production*. Sustainable Chemistry and Pharmacy, v. 18.
- KIM, R.; MANJULA-BASAVANN, A. (2024). *Biotechnology-Based Novel Bioplastics: A Literature Review*. International Journal of high School Research, v. 6, n. 4, 53 p.
- LAMBERTI, F. M.; ROMÁN-RAMIREZ, L. A.; WOOD, J. (2020). *Recycling of Bioplastics: Routes and Benefits*. Journal of Polymers and Environment, v. 28, pp. 2551-2571.
- LIMA, A. (2022). *Aperfeiçoamento de utensílios descartáveis a partir do bioplástico*. Revista Ceará Científico, 1(1), pp. 76-82.
- LOKESH, P.; SHOBIKA, R.; OMER, S. N.; REDDY, M.; SARAVANAN, P.; RAJESHKANNAN, R.; SARAVANAN, V.; VENKATKUMAR, S. (2023). *Bioremediation of plastics by the help of microbial tool: A way for control of plastic pollution*. Sustainable Chemistry for the Environment, v. 3, 14 p.
- MACEDO, M.J.; MOURA, I.; OLIVEIRA, M.; MACHADO, A. V. (2015). *Development of Bioplastics from Agro-Wastes*. Revista Materiais, pp. 21-23.
- MANNINA, G.; PRESTI, D.; MONTIEL-JARILLO, G.; OJEDA, M. E. S. (2019). *Bioplastic recovery from wastewater: A new protocol for polyhydroxyalkanoates (PHA) extraction from mixed microbial cultures*. Bioresource Technology, v. 282, pp. 361-369.
- MUTHURAJ, R.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. (2015). *Injection Molded Sustainable Biocomposites From Poly (butylene succinate) Bioplastic and Perennial Grass*. ACS Sustainable Chemistry e Engineering, v. 3, pp. 2767-2776.
- OJEDA, T. (2013). *Polymers and the Environment*. Polymer Science, pp. 1-34.
- OLIVEIRA, A. C. (2021). *A importância da economia circular para produtos feitos à base de polímeros*. Brasília.
- PAULINO, G. S.; PEREIRA, J. S.; RIBON, A. O.B.; CAIXETA, E. T.; MENDES, T. A. O. (2019). *Produção de bioplásticos a partir de resíduos de café e seu uso como matriz de liberação de antimicrobianos*. In X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Vitória – ES, out. 2019, 6 p.
- SANTANA, R. F.; BONOMO, R. C. F.; GANDOLFI, O. R. R.; RODRIGUES, L. B.; SANTOS, L. S.; PIRES, A. C. S.; OLIVEIRA, C. P.; FONTAN, R. C. I.; VELOSO, C. M. (2018). *Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol*. Journal of Food Science and Technology. 55 (1), pp. 278-286.
- SANTOS, T.A. (2015). *Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos a base de amido de jaca com incorporação de lisozima*. Bahia.
- SERGEEVNA, P. A. (2024). *New technologies in the production of bioplastics: prospects and environmental significance*. International Journal of Professional Science, v. 2, n. 3.
- SHAH, A. A.; HASAN, F.; HAMEED, A.; AHMED, S. (2008). *Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review*. Biotechnology Advances, v. 28, pp. 246-265.
- SOUZA, M. T. V.; SALES-SHIMOMOTO, V.; SILVA, G. S.; VAL, A. L. (2023). *Microplastics and the Amazon: from the rivers to the estuary*. Revista Química Nova, v. 46 (6), pp. 655-667.
- STASIŠKIENE, Z.; BARBIR, J.; DRAUDVILIENE, L.; CHONG, Z.; KUCHTA, K.; VORONOVA, V.; FILHO, W.L. (2022). *Challenges and Strategies for Bio-Based and Biodegradable Plastic Waste Management in Europe*. Sustainability, v. 14, n. 24, 17 p.
- YU, J.; XU, S.; LIU, B.; WANG, H.; QIAO, F.; REN, X.; WEI, Q. (2023). *PLA bioplastic production: From monomer to the polymer*. European Polymer Journal, v. 193.