



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

EDIANE DA CONCEIÇÃO BEZERRA

Viabilidade ambiental e econômica do PLA em embalagens de alimentos: uma análise
comparativa com plásticos convencionais

Cabo de Santo Agostinho - PE

2025

EDIANE DA CONCEIÇÃO BEZERRA

Viabilidade ambiental e econômica do PLA em embalagens de alimentos: uma análise comparativa com plásticos convencionais

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Dagnone Figueiredo

Cabo de Santo Agostinho - PE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

B574v Bezerra, Ediane da Conceição.

Viabilidade ambiental e econômica do PLA em embalagens de alimentos : uma análise comparativa com plásticos convencionais / Ediane da Conceição Bezerra. – Cabo de Santo Agostinho, 2025.

30 f.; il.

Orientador(a): José Fernando Dagnone Figueiredo.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA, Bacharelado em Engenharia de Materiais, Cabo de Santo Agostinho, BR-PE, 2026.

Inclui referências.

1. Polímeros - Biodegradação. 2. Desenvolvimento sustentável. 3. Embalagens. 4. Biopolímeros 5. Engenharia de materiais - Estudo e ensino. I. Figueiredo, José Fernando Dagnone, orient. II. Título

CDD 620.11

EDIANE DA CONCEIÇÃO BEZERRA

Viabilidade ambiental e econômica do PLA em embalagens de alimentos: uma análise comparativa com plásticos convencionais

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Aprovada em: 31/07/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Fernando Dagnone Figueiredo - UFRPE

Profa. Dra. Juliana de Castro Macêdo Fonseca - UFRPE

Profa. Dra. Verônica Cristhina de Souza Diniz - UFRPE

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus gatos, companheiros silenciosos, nem tanto assim, fiéis em tantas madrugadas de estudo — em especial à Delta, que tantas vezes esteve em meu colo, oferecendo aconchego nos momentos de cansaço. E dedico também a mim mesmo, por não ter desistido diante de cada obstáculo, por ter persistido quando parecia impossível, e por ter acreditado que eu era capaz.

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças.”

Charles Robert Darwin

RESUMO

Nos últimos anos, o aumento da preocupação com os impactos ambientais causados pelos plásticos tradicionais tem incentivado a busca por alternativas mais sustentáveis. Entre essas opções, destaca-se o PLA, um bioplástico de origem vegetal e biodegradável, com potencial para substituir materiais como PE, PP e PET em embalagens. Este estudo tem como objetivo analisar a viabilidade do PLA, considerando seus benefícios ambientais e econômicos dentro da proposta da economia circular. Diante do exposto o objetivo geral é avaliar a viabilidade ambiental e econômica do PLA em comparação aos plásticos convencionais utilizados em embalagens de alimentos. Este trabalho trata-se de um estudo bibliográfico, desenvolvido a partir da análise e interpretação de publicações científicas, artigos, dissertações, teses e documentos oficiais que abordam o tema. Dessa forma, o PLA se mostra como uma alternativa real para substituir parte dos plásticos derivados do petróleo, desde que sejam criadas condições adequadas para seu desenvolvimento e uso responsável. O futuro desse material depende de ações integradas que envolvam pesquisa, inovação, políticas públicas e educação ambiental, para que ele possa ser acessível, funcional e, de fato, sustentável.

Palavras-chave: PLA; desenvolvimento sustentável; embalagens.

ABSTRACT

In recent years, increased concern about the environmental impacts caused by traditional plastics has encouraged the search for more sustainable alternatives. Among these options, PLA stands out, a bioplastic of plant origin and biodegradable, with the potential to replace materials such as PE, PP and PET in packaging. This study aims to analyze the viability of the PLA, considering its environmental and economic benefits within the circular economy proposal. Given the above, the general objective is to evaluate the environmental and economic viability of PLA in comparison to conventional plastics used in food packaging. This work is a bibliographic study, developed from the analysis and interpretation of scientific publications, articles, dissertations, theses and official documents that address the topic. In this way, PLA appears to be a real alternative to replace part of the plastics derived from petroleum, as long as adequate conditions are created for its development and responsible use. The future of this material depends on integrated actions that involve research, innovation, public policies and environmental education, so that it can be accessible, functional and, in fact, sustainable.

Keywords: PLA; sustainable development; packaging.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 Plásticos convencionais em embalagens (PE, PP, PET).....	11
2.2 PLA: produção, propriedades e biodegradabilidade.....	16
2.3 Comparação ambiental e econômica.....	20
2.4 Normas e regulamentações.....	21
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 Critérios de comparação.....	24
3.2 Análise de ciclo de vida (ACV).....	25
3.3 Custos e viabilidade econômica.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Comparação de desempenho e impacto ambiental.....	25
4.2 Viabilidade econômica do PLA.....	28
4.3 Desafios e perspectivas.....	29
REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem se falado cada vez mais sobre os problemas causados pelo uso exagerado de plásticos comuns, principalmente aqueles feitos com materiais de origem fóssil. Isso se deve ao fato de que esses plásticos demoram muito tempo para se decompor na natureza, o que acaba contribuindo para a poluição e para o aumento dos impactos ambientais. Como explica Barreto (2024), grande parte dos plásticos utilizados atualmente são derivados de fontes fósseis e geram preocupações ambientais por conta de sua baixa degradabilidade e alta emissão de gases poluentes ao longo de seu ciclo de vida.

A grande quantidade de resíduos gerados, principalmente por embalagens descartáveis, tem gerado impactos ambientais significativos, como a poluição marinha e o aumento de gases de efeito estufa. Segundo Caparica (2017), a produção e descarte de plásticos convencionais resultam em problemas de difícil controle, o que justifica a busca por alternativas mais sustentáveis, como os bioplásticos. Diante desse cenário, os bioplásticos surgem como uma solução mais ecológica e viável. Eles são feitos a partir de matérias-primas renováveis, como o amido de milho ou a cana-de-açúcar. Um bom exemplo é o PLA, um bioplástico que vem se destacando justamente por ter origem vegetal e ser capaz de se decompor mais facilmente, além de ser uma opção mais segura para o meio ambiente (Sousa, 2025). Para que ele possa ser adotado em larga escala, é preciso avaliar sua viabilidade tanto ambiental quanto econômica. De acordo com Lopes (2019), é essencial que as escolhas industriais considerem os impactos ambientais e busquem práticas mais limpas e eficientes. Valle, Guarnieri e Filippi (2023) destacam que a adoção de embalagens sustentáveis está diretamente relacionada às exigências do mercado e à responsabilidade ambiental das empresas. Dessa forma, este trabalho propõe analisar o PLA em comparação aos plásticos convencionais (como PE, PP e PET), com o objetivo de entender se ele é de fato uma opção viável para uso em embalagens alimentícias, considerando os aspectos econômicos e os benefícios ambientais associados à sua aplicação dentro da lógica da economia circular.

Diante do exposto o objetivo geral é avaliar a viabilidade ambiental e econômica do PLA em comparação aos plásticos convencionais utilizados em embalagens de alimentos. E tem como objetivo específico: Investigar as principais aplicações dos plásticos convencionais (PE, PP, PET) em embalagens; apresentar o processo de produção do PLA, suas propriedades e sua biodegradabilidade; comparar os impactos ambientais do PLA e dos plásticos

convencionais com base em dados atuais; analisar os custos de produção e comercialização do PLA em relação aos plásticos comuns e identificar normas e regulamentações que orientam o uso do PLA e de plásticos convencionais.

O estudo se justifica pela importância ambiental e econômica do políácido láctico (PLA), uma alternativa sustentável frente aos problemas causados pelos plásticos convencionais. Como destaca Fortuna (2020), o acúmulo desses resíduos gera sérios impactos ambientais, exigindo soluções mais ecológicas.

Por ser um biopolímero de fonte renovável e biodegradável, o PLA se apresenta como uma opção viável para embalagens. No entanto, conforme observa Rodrigues (2022), seu uso ainda enfrenta desafios relacionados ao custo de produção e à escala industrial. Assim, é fundamental compreender suas propriedades, aplicação prática e desempenho ambiental e econômico, com base em dados atuais e normas vigentes. Essa análise permite identificar se o PLA pode realmente substituir os plásticos convencionais, contribuindo para a redução de resíduos e promovendo a sustentabilidade nos processos produtivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Plásticos convencionais em embalagens (PE, PP, PET)

O uso excessivo de plásticos convencionais, especialmente em embalagens alimentícias, tem se tornado um grande desafio ambiental. Esses materiais são derivados do petróleo, não biodegradáveis e levam centenas de anos para se decompor na natureza (Da Silva; Rabelo, 2017). Por causa disso, cada vez mais pesquisadores e empresas têm buscado soluções que sejam mais sustentáveis, como o uso de bioplásticos e materiais recicláveis. Esses materiais, como o polietileno (PE), o polipropileno (PP) e o politereftalato de etileno (PET), possuem características que os tornam altamente funcionais para a indústria alimentícia, especialmente no que diz respeito à conservação dos produtos e à praticidade no transporte e armazenamento (Landim *et al.*, 2016). A produção dessas embalagens tradicionais também contribui para a poluição, tanto pelo descarte incorreto quanto pela emissão de gases de efeito estufa durante a sua fabricação. Segundo Kokubun (2024), o setor de embalagens plásticas alimentícias é um dos que mais consome polímeros de origem fóssil no Brasil, gerando resíduos de uso único e de difícil reaproveitamento. A praticidade das embalagens plásticas levou a um cenário em que elas se tornaram quase indispensáveis, mas, ao mesmo tempo, um dos maiores desafios

ambientais da atualidade (França *et al.*, 2022). As embalagens feitas de materiais que misturam diferentes tipos de polímeros, como os filmes multicamadas, dificultam a reciclagem e aumentam o volume de resíduos nos aterros. Como alerta Landim *et al.* (2016), esse descarte desordenado afeta diretamente o meio ambiente, e a solução está na substituição por materiais que tenham menor impacto ambiental, como os biopolímeros.

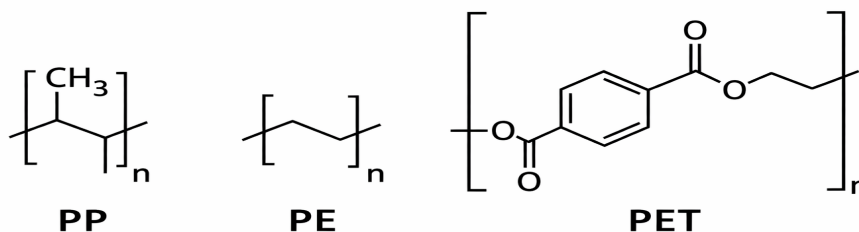
O polietileno (PE) é um dos polímeros mais utilizados no mundo e está presente em embalagens flexíveis, como sacolas e filmes plásticos. Ele é valorizado por sua leveza, impermeabilidade e baixo custo, além de ser quimicamente estável. Sua baixa taxa de degradação o torna um dos principais poluentes ambientais (Landim *et al.*, 2016). Já o polipropileno (PP), muito usado em embalagens de alimentos prontos, como as de *delivery*, possui boas propriedades térmicas e resistência mecânica, sendo frequentemente preferido em aplicações que exigem durabilidade e resistência ao calor (Montesanti; Carelli, 2021).

Apesar de suas vantagens, o polipropileno (PP) enfrenta barreiras significativas quando o assunto é reciclagem. Sua reutilização para contato com alimentos ainda não é autorizada por normas sanitárias, o que limita seu reaproveitamento dentro da cadeia produtiva (Montesanti; Carelli, 2021). Isso contribui para o descarte contínuo desse material, sem alternativas viáveis de reaproveitamento, especialmente no setor alimentício.

Azevedo (2019) complementa que os bioplásticos, apesar de ainda terem um custo mais alto em comparação ao plástico comum, são uma alternativa viável porque são biodegradáveis, vêm de fontes renováveis e apresentam bom desempenho para diversas aplicações, inclusive em embalagens.

O politereftalato de etileno (PET), por outro lado, apresenta um cenário mais promissor. De acordo com dados da ABIPET citados por Landim *et al.* (2016), o PET possui uma taxa de reciclagem mais elevada no Brasil, principalmente em garrafas de bebidas. Isso se deve à existência de tecnologias que permitem a descontaminação do material, possibilitando sua reutilização em novos produtos com qualidade próxima ao do plástico virgem. O PET combina leveza, resistência e transparência, características muito valorizadas pela indústria alimentícia, especialmente na produção de garrafas de refrigerantes, sucos e água mineral. A Figura 1 ilustra as unidades repetitivas do PP, PE e PET, evidenciando as particularidades estruturais responsáveis por seus distintos comportamentos e aplicações industriais.

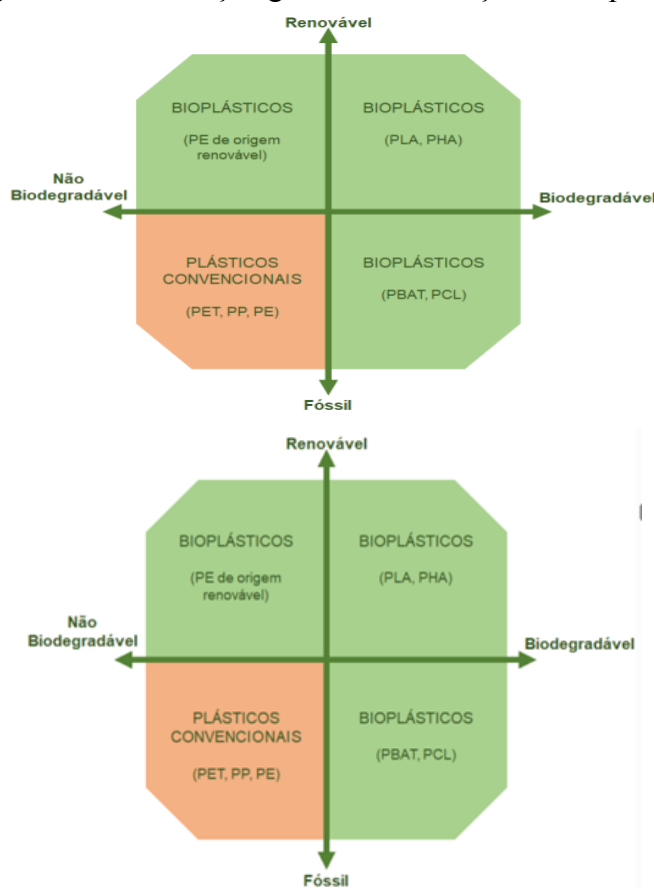
Figura 1 – Estruturas químicas das unidades repetitivas dos polímeros polipropileno (PP), polietileno (PE) e politereftalato de etileno (PET).



Fonte: Elaborado pela própria autora.

A Figura 2 apresenta uma classificação dos diferentes tipos de plásticos com base em duas características principais: a origem da matéria-prima (renovável ou fóssil) e a capacidade de biodegradação (biodegradável ou não biodegradável). No quadrante inferior esquerdo estão os plásticos convencionais, como PET, PP e PE, que são derivados do petróleo e não se decompõem facilmente no meio ambiente. Já no quadrante superior esquerdo aparecem os bioplásticos que, apesar de serem feitos a partir de fontes renováveis, como o PE de origem vegetal, ainda não são biodegradáveis. No canto inferior direito estão os bioplásticos de origem fóssil, como polibutileno adipato tereftalato (PBAT) e policaprolactona (PCL), que mesmo sendo feitos com base em petróleo, possuem capacidade de biodegradação. Por fim, no quadrante superior direito, estão os bioplásticos considerados mais sustentáveis, como o PLA e o polihidroxialcanoato (PHA), pois são produzidos a partir de fontes renováveis e são biodegradáveis, representando uma opção mais ecológica para substituição dos plásticos tradicionais.

Figura 2 - Visualização gráfica da definição de bioplásticos



Fonte: França et al., (2022)

Entretanto, mesmo com tecnologias mais acessíveis de reciclagem, o PET ainda representa um desafio quando falamos em volume de consumo. O excesso de produção e o descarte incorreto continuam gerando um acúmulo significativo nos centros urbanos e nos ecossistemas, o que reforça a necessidade de políticas públicas e campanhas de conscientização ambiental (França *et al.*, 2022). De acordo com Sproesser *et al.* (2024), o ciclo de vida das embalagens plásticas deve ser avaliado desde a sua fabricação até o descarte, considerando o impacto ambiental em todas as etapas. Essa abordagem, conhecida como Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), tem sido essencial para entender os danos gerados pelas embalagens plásticas e identificar pontos onde é possível intervir com alternativas mais sustentáveis. No caso do PP, por exemplo, a ACV demonstrou que, apesar de ser um material leve e resistente, ele apresenta altos índices de emissão de gases poluentes durante sua fabricação, além de baixa reciclabilidade (Kokubun, 2024).

O descarte inadequado dos plásticos convencionais tem consequências diretas na saúde pública. Quando descartados em locais inapropriados, esses materiais contribuem para a

obstrução de bueiros e o alagamento de áreas urbanas, além de servirem como criadouros para vetores de doenças, como o mosquito *Aedes aegypti* (Landim *et al.*, 2016). Essas condições mostram que é urgente repensar o modo como produzimos e descartamos as embalagens plásticas. É preciso investir em educação ambiental e promover a responsabilidade compartilhada entre o governo, as empresas e os consumidores. Como destacam Bettoni *et al.* (2022), buscar soluções sustentáveis e alternativas biodegradáveis é fundamental para reduzir os impactos causados pelos plásticos convencionais no meio ambiente.

Montesanti e Carelli (2021) destacam ainda que, em estudos comparativos entre embalagens de PP e alternativas biodegradáveis, como as feitas de bagaço de cana-de-açúcar, observou-se que os impactos ambientais do PP são maiores em quase todas as categorias analisadas. Isso mostra que a substituição de plásticos convencionais por materiais de origem renovável pode representar uma estratégia eficiente para reduzir os danos ambientais. É importante considerar os custos e as limitações técnicas dos novos materiais, já que muitos ainda estão em fase de testes e com uso restrito (Firmino *et al.*, 2024).

Por mais que existam opções biodegradáveis no mercado, como bioplásticos e compostos de origem vegetal, o cenário atual ainda é dominado pelos plásticos derivados do petróleo. Segundo França *et al.* (2022), essa preferência se deve principalmente ao custo reduzido, à facilidade de produção em larga escala e à estabilidade das propriedades físico-químicas dos plásticos convencionais. A substituição por materiais sustentáveis requer, investimento em pesquisa, incentivos governamentais e mudanças estruturais na indústria de embalagens.

A mudança de mentalidade em relação ao uso do plástico é um processo lento, mas necessário. Iniciativas como a logística reversa e a economia circular têm ganhado espaço como alternativas para minimizar os impactos causados pelo descarte desses materiais (Sproesser *et al.*, 2024). A logística reversa busca promover o retorno das embalagens usadas aos fabricantes ou recicladores, garantindo o tratamento correto desses resíduos. Já a economia circular propõe o redesenho dos sistemas produtivos, para que os resíduos se tornem matéria-prima para novos produtos (Miranda, 2022). A economia circular propõe uma mudança no modo como os produtos são fabricados, buscando aproveitar os resíduos como matéria-prima para novas produções. Esse modelo ajuda a reduzir o desperdício e torna o processo produtivo mais sustentável (Ellen Macarthur Foundation, 2017).

Apesar de suas vantagens técnicas e econômicas, os impactos gerados por sua produção e descarte não podem ser ignorados. É preciso incentivar práticas de consumo mais

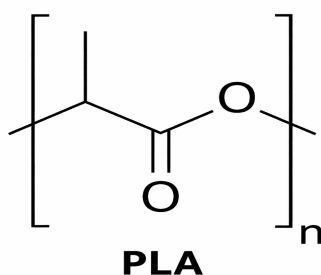
conscientes, investir em alternativas ecológicas e desenvolver tecnologias que permitam a reutilização segura desses materiais. Somente assim será possível equilibrar os benefícios industriais dos plásticos com a necessidade urgente de proteger o meio ambiente e garantir um futuro sustentável (Landim *et al.*, 2016).

2.2 PLA: produção, propriedades e biodegradabilidade

Conforme Loro (2023), os termoplásticos biodegradáveis produzidos a partir de fontes renováveis vêm ganhando protagonismo por apresentarem desempenho mecânico satisfatório, menor impacto ambiental e potencial de inserção em cadeias produtivas circulares.

O PLA é feito a partir de matérias-primas naturais, como o amido de milho e a cana-de-açúcar. Esses ingredientes passam por um processo de fermentação para formar o ácido lático, que depois é transformado em plástico por reações químicas específicas. Esse tipo de produção é vantajoso por usar fontes renováveis e por ter menor gasto de energia (Souza *et al.*, 2014). O poli(ácido lático) (PLA) apresenta uma estrutura característica de poliéster alifático, composta por unidades repetitivas ligadas por ligações éster, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura química da unidade repetitiva do poliácido lático (PLA).



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Segundo Sá (2021), além do uso de matérias-primas de origem agrícola, muitos estudos têm buscado alternativas mais viáveis economicamente, utilizando resíduos agroindustriais como substrato para a produção do ácido lático, o que além de reduzir custos, promove uma destinação mais nobre a subprodutos que muitas vezes seriam descartados.

No contexto da sustentabilidade, a utilização de resíduos de cascas de frutas, bagaço da cana e até soro de leite para a produção de PLA é uma estratégia que associa economia circular e eficiência ambiental. De acordo com Sá (2021), essa abordagem agrega valor aos resíduos e ajuda a resolver problemas relacionados ao descarte desses materiais. Esse tipo de produção ajuda a reduzir o uso de alimentos como milho e batata, que também são usados

para fabricar alguns plásticos biodegradáveis. Isso é importante para evitar que a produção de embalagens concorra com a produção de alimentos, especialmente em um cenário onde a insegurança alimentar ainda é uma realidade (Scapim, 2024). O PLA apresenta diversas propriedades que o tornam atrativo para diferentes aplicações industriais, sobretudo no setor de embalagens. De acordo com Fernandes *et al.* (2018), o PLA é um poliéster alifático que apresenta boa resistência mecânica, transparência, rigidez e propriedades barreira semelhantes a alguns polímeros tradicionais, como o PET. O PLA, apesar de ser um material biodegradável, é frágil e não resiste bem ao calor, o que dificulta seu uso em algumas embalagens. Por isso, os estudos têm testado a mistura com outros plásticos biodegradáveis, como o PBAT, para melhorar sua resistência e tornar o material mais eficiente para a indústria (Fortuna, 2020).

A pesquisa desenvolvida por Fernandes *et al.* (2018) investigou misturas ternárias compostas por PLA, PBAT e NBR (borracha nitrílica), observando melhora significativa na resistência ao impacto e na flexibilidade das blendas. Essas combinações visam criar um material que mantenha as propriedades estruturais do PLA, mas que seja mais adaptável às exigências da indústria. A escolha certa dos materiais e das proporções utilizadas é essencial para garantir que o produto final tenha boas propriedades mecânicas e seja biodegradável. Segundo Silva, Marconcini e Mattoso (2015), a compatibilidade entre os componentes da blenda influencia diretamente no desempenho e na eficiência do material.

Conforme Loro (2023), a degradação do PLA ocorre principalmente por hidrólise da cadeia polimérica, seguida pela ação de microrganismos que convertem os fragmentos em dióxido de carbono, água e biomassa. A biodegradação do PLA precisa de condições específicas para acontecer de forma mais rápida, como calor, umidade e micro-organismos certos. Por isso, ele se degrada melhor em ambientes controlados, como os de compostagem industrial (Gonzaga, 2021).

Estudos de Hirashima *et al.* (2022) demonstraram que a aplicação de tecnologias avançadas, como a impregnação supercrítica de fármacos em espumas de PLA, depende fortemente da estabilidade e da previsibilidade da sua degradação. Isso porque, no caso da liberação controlada de substâncias, a taxa de degradação do polímero influencia diretamente a eficácia do processo. Os autores apontam que a estrutura do PLA, sua cristalinidade e o grau de ramificação das cadeias poliméricas afetam significativamente a sua resistência e comportamento frente à hidrólise e ao ataque microbiano.

Loro (2023) observa que técnicas de pré-tratamento físico e químico, como ultrassom, micro-ondas ou aplicação de soluções alcalinas, têm sido estudadas para acelerar a fragmentação inicial do PLA e, com isso, tornar o processo de biodegradação mais eficiente. Alguns estudos vêm testando novas formas de acelerar a decomposição do PLA. Essas técnicas ajudam a reduzir o tempo necessário para o material se quebrar completamente e podem funcionar tanto em casa quanto em sistemas industriais. Métodos que não usam calor ainda têm a vantagem de gastar menos energia, o que torna o processo mais sustentável (Linan; Santos; Rodrigues, 2022).

A questão da biodegradabilidade também está atrelada às condições do ambiente de descarte. Como aponta Sá (2021), a variabilidade do solo, como o pH, a temperatura e a biodiversidade microbiana, influencia diretamente a eficiência da degradação dos biopolímeros. Em solos com muitos microrganismos, como em áreas agrícolas, o PLA pode se degradar mais rápido, especialmente se estiver em pedaços menores e com mais contato com o solo. Mas, em aterros com pouca ventilação e sem umidade, ele pode demorar muito para se decompor, agindo de forma parecida com plásticos comuns (Donati, 2022).

No estudo de Fernandes *et al.* (2018), as misturas de PLA com PBAT foram expostas a testes de envelhecimento térmico e degradação em meio úmido, apresentando resultados promissores quanto à perda de massa e formação de subprodutos não tóxicos. Esses testes são fundamentais para verificar a viabilidade do uso desses materiais em produtos de vida útil curta, como sacolas, filmes para alimentos e embalagens descartáveis. A vantagem de se fazer blends é que elas juntam as qualidades mecânicas e estruturais de diferentes polímeros biodegradáveis, o que ajuda a criar materiais mais completos e sustentáveis, especialmente para uso em embalagens (Assanuma, 2024).

O impacto ambiental da produção do PLA também é um ponto de destaque. Segundo Loro (2023), a pegada de carbono do PLA é significativamente menor que a dos plásticos derivados do petróleo, especialmente quando a produção se dá a partir de biomassa residual. Isso significa que, ao longo do ciclo de vida do produto, desde a matéria-prima até o descarte, o PLA emite menos gases de efeito estufa, o que contribui para o combate às mudanças climáticas. Contudo, é necessário garantir que o cultivo de matérias-primas para o PLA não substitua áreas agrícolas destinadas à produção de alimentos, sob o risco de gerar impactos sociais e econômicos negativos.

Por isso, tem aumentado o incentivo ao uso de resíduos agroindustriais, como cascas e subprodutos de processos alimentares, para produzir biopolímeros como o PLA, contribuindo

para uma produção mais sustentável (Bettoni *et al.*, 2022). Sá (2021) destaca que materiais como cascas de banana, bagaço de uva e restos de hortaliças têm sido utilizados com sucesso na fermentação para obtenção de ácido láctico. Muitos subprodutos industriais, mesmo sendo comuns, não têm valor comercial e acabam virando resíduos. Quando eles são transformados em matéria-prima para bioplásticos, a cadeia de produção se torna mais eficiente e se alinha com os princípios da bioeconomia e da economia circular (Assanuma, 2024)

Ainda há desafios tecnológicos e logísticos a serem superados. A padronização dos resíduos, o controle de qualidade e a viabilidade econômica em larga escala são obstáculos citados por Sá (2021) como limitantes para a aplicação industrial destas soluções. Poucos empreendimentos comerciais utilizam efetivamente esses resíduos na produção de polímeros, em parte pela ausência de incentivos fiscais e subsídios para a inovação em materiais sustentáveis. Por isso, a colaboração entre universidades, setor produtivo e poder público é essencial para o avanço dessa área.

A produção de PLA e sua utilização em embalagens, dispositivos médicos e outros produtos de uso único representam uma estratégia viável para a redução dos impactos ambientais causados por plásticos convencionais. Como ressalta Hirashima *et al.* (2022), as aplicações tecnológicas do PLA são amplas e vão além do setor de embalagens, incluindo também a área farmacêutica, onde sua biodegradabilidade é aproveitada para sistemas de liberação controlada de medicamentos. Com o avanço das pesquisas e o apoio de políticas públicas, o PLA e outros bioplásticos podem substituir aos poucos os plásticos convencionais em vários setores da economia (Azevedo, 2019).

Em conclusão, o PLA representa um avanço importante na transição para uma economia mais sustentável. Sua produção a partir de biomassa, suas propriedades mecânicas satisfatórias e sua capacidade de degradação em ambientes controlados o torna um dos principais candidatos para substituir os plásticos derivados do petróleo. Como apontam Loro (2023), Fernandes *et al.* (2018), Sá (2021) e Hirashima *et al.* (2022), ainda é necessário superar desafios técnicos, para garantir a eficácia e viabilidade desses materiais. A integração entre ciência, indústria e sociedade será essencial para que esses polímeros possam ser produzidos e utilizados em larga escala, contribuindo de fato para a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.

2.3 Comparação ambiental e econômica

A análise da viabilidade do PLA em comparação aos plásticos convencionais envolve a consideração conjunta de fatores ambientais e econômicos. Do ponto de vista ambiental, destaca-se que o PLA é derivado de fontes renováveis, como o milho e a cana-de-açúcar, o que reduz a dependência de recursos fósseis e a emissão de gases de efeito estufa. De acordo com Rezvani Ghomi *et al.* (2021), o ciclo de vida do PLA apresenta menores índices de emissão de CO₂, principalmente pela capacidade de captura de carbono durante o cultivo da matéria-prima.

O processo de produção do PLA, embora mais custoso, tende a gerar menos poluentes em comparação aos plásticos convencionais, como o PET e o PP, cujas etapas de fabricação são intensivas em energia e geram altos volumes de resíduos (Barcellos, 2021). Um diferencial importante é a possibilidade de biodegradação do PLA em condições industriais adequadas, o que representa um avanço significativo na gestão de resíduos, conforme destaca Almeida *et al.* (2015).

Do ponto de vista econômico, a produção do PLA ainda é mais onerosa quando comparada aos polímeros tradicionais. Barcellos (2021) aponta que os principais fatores responsáveis por esse custo elevado incluem o preço das matérias-primas agrícolas, os processos de fermentação e polimerização e a ausência de uma produção em escala industrial ampla no Brasil. No entanto, Rezvani Ghomi *et al.* (2021) ressaltam que o aumento da demanda por materiais sustentáveis e os investimentos em tecnologias mais eficientes tendem a reduzir os custos ao longo do tempo.

O valor agregado do PLA também deve ser considerado. Segundo Oliveira *et al.* (2022), empresas que optam por materiais sustentáveis podem obter vantagens mercadológicas, como a valorização de sua imagem institucional e a adesão de consumidores preocupados com questões ambientais.

A aplicação da Análise do Ciclo de Vida (ACV) reforça esses aspectos. Conforme Mello, Vieira e Gitahy (2019), quando se avalia todo o percurso do produto desde a extração da matéria-prima até o descarte, o PLA apresenta melhor desempenho ambiental. Isso se deve à menor geração de resíduos tóxicos, à possibilidade de compostagem e à menor emissão de gases de efeito estufa.

Apesar de seu custo inicial superior, a utilização do PLA pode gerar benefícios indiretos, como a redução de taxas ambientais, menor necessidade de tratamentos complexos

de resíduos e adequação às legislações ambientais mais rigorosas que têm surgido nos últimos anos (Santos *et al.*, 2015).

Portanto, a escolha pelo PLA envolve uma análise estratégica. Se, por um lado, os custos ainda representam uma barreira, por outro, os benefícios ambientais e as tendências de mercado indicam que a adoção desse material pode ser viável e vantajosa a médio e longo prazo, principalmente se houver incentivos governamentais e investimentos em tecnologias de produção mais eficientes (Hirashima *et al.*, 2022).

2.4 Normas e regulamentações

O PLA é biodegradável e apresenta propriedades adequadas para aplicações na indústria alimentícia. No entanto, seu uso exige rigorosa conformidade com normas e regulamentações específicas, que visam garantir a segurança do consumidor. Isso porque materiais destinados ao contato com alimentos podem representar riscos toxicológicos caso não passem por controle e certificações adequadas (Ebling, 2024).

As legislações que tratam da segurança dos materiais em contato com alimentos são rigorosas no Brasil e seguem parâmetros definidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). A Resolução RDC nº 20/2008, por exemplo, estabelece limites máximos de migração de substâncias químicas de embalagens para alimentos. Mesmo que o PLA não contenha, na sua composição básica, substâncias tóxicas como o bisfenol A, ainda é necessário realizar testes específicos de migração para garantir que ele seja seguro no contato com alimentos, como acontece com qualquer outro tipo de embalagem destinada ao setor alimentício (Santos; Pereira; Yoshikawa, 2023), sua segurança precisa ser comprovada por meio de testes de migração específicos, como é exigido para qualquer outro polímero destinado ao contato com alimentos (Dos Santos Souza *et al.*, 2019).

As propriedades do PLA também podem mudar dependendo dos componentes adicionados durante sua fabricação, como plastificantes, aditivos ou até nanocompostos. Esses elementos influenciam diretamente no desempenho do material, inclusive em relação à sua estabilidade e resistência (Wolffenbüttel, 2018). Essa variação nas características pode afetar, principalmente, como o PLA se comporta quando entra em contato com alimentos, sendo algo que precisa ser bem avaliado para garantir sua segurança (Sobreira, 2019). Almeida *et al.* (2015) destacam que a aplicação de nanotecnologia nas embalagens tem trazido inúmeros benefícios, como aumento da barreira contra umidade e crescimento microbiano, mas também impõe desafios regulatórios. A presença de nanopartículas, ainda

que em baixa concentração, pode alterar a migração de substâncias e, consequentemente, gerar questionamentos sobre a toxicidade crônica dessas interações.

As normas técnicas brasileiras, muitas vezes, se inspiram em padrões internacionais, como os estabelecidos pela União Europeia, que já possuem diretrizes mais completas sobre o uso de materiais biodegradáveis e compostáveis em contato com alimentos. Contudo, a adaptação dessas normas ao contexto brasileiro ainda é um processo em construção. Ebling (2024) ressalta que a regulamentação nacional ainda não cobre todas as situações envolvendo polímeros alternativos, como o PLA, o que pode gerar insegurança jurídica e dificuldade de padronização para os fabricantes.

Por outro lado, o controle sobre o uso de substâncias reconhecidamente perigosas tem sido reforçado. O estudo de Dos Santos Souza *et al.* (2019), por exemplo, analisou os riscos associados à migração do bisfenol A (BPA) em embalagens de politereftalato de etileno (PET), mostrando que a exposição a esse composto pode provocar efeitos hormonais adversos, especialmente em alimentos submetidos a aquecimento. Embora o PLA não contenha BPA, é fundamental que a regulamentação acompanhe os avanços tecnológicos e preveja os possíveis efeitos de novas substâncias, garantindo que o uso de bioplásticos não substitua um problema por outro.

Outro ponto relevante é o papel da rotulagem e da informação clara ao consumidor. Santos *et al.* (2018) destacam a importância de indicar corretamente nas embalagens se o material é biodegradável, compostável, se pode ser reutilizado ou aquecido em micro-ondas, entre outras informações. No caso do PLA, é importante seguir algumas recomendações, já que quando ele é exposto a temperaturas mais altas, pode perder parte da sua estrutura original. Isso pode mudar suas propriedades e até causar a liberação de compostos para o alimento, por isso é essencial que sejam feitos testes específicos de segurança (Santos; Pereira; Yoshikawa, 2023).

A rotulagem correta também está associada à transparência das empresas e ao cumprimento das normas de defesa do consumidor. Ebling (2024) reforça que, em ambientes como hospitais, onde o uso de embalagens é intenso e a segurança do paciente é prioridade, o controle sobre os materiais utilizados precisa ser ainda mais rígido. Qualquer falha na informação ou inadequação na escolha do tipo de plástico pode comprometer a qualidade dos alimentos e trazer riscos à saúde dos pacientes, que muitas vezes estão em situações de maior vulnerabilidade.

No cenário da pesquisa aplicada, observa-se um crescente número de estudos que investigam a segurança e a viabilidade do PLA em contato com diferentes tipos de alimentos. Segundo Almeida *et al.* (2015), a combinação de PLA com outros materiais, como polímeros biodegradáveis ou nanopartículas antimicrobianas, tem ampliado suas aplicações, mas também exigido novos protocolos de testes toxicológicos. Isso porque, quanto maior a complexidade da formulação, maior é a possibilidade de interação química entre os componentes da embalagem e o alimento, exigindo uma regulamentação mais específica e atualizada.

Apesar de seus benefícios, o PLA não é isento de limitações técnicas que impactam diretamente sua regulamentação. Em temperaturas elevadas, o PLA pode se deformar ou perder sua função estrutural, tornando-se inadequado para certos tipos de alimentos, como aqueles que exigem cozimento ou aquecimento prévio. Essa característica precisa ser considerada tanto pelos fabricantes quanto pelos órgãos reguladores, que devem garantir que as embalagens estejam de acordo com seu uso pretendido. Como apontado por Dos Santos Souza *et al.* (2019), a falha em respeitar essas limitações pode acarretar riscos semelhantes aos observados em plásticos convencionais com migração de substâncias tóxicas.

Outro aspecto importante é o descarte correto das embalagens feitas com PLA. Embora seja um material biodegradável, sua degradação só acontece de maneira eficiente em ambientes de compostagem industrial, onde há controle de temperatura e umidade. Em aterros comuns ou na natureza, o processo de decomposição é muito lento, o que reforça a necessidade de políticas adequadas de descarte (Souza *et al.*, 2014). Isso significa que, sem uma política pública que regule sua destinação adequada, o PLA pode acabar se acumulando nos mesmos ambientes onde se acumulam os plásticos convencionais. Santos *et al.* (2018) ressaltam a importância de campanhas educativas e da criação de sistemas de logística reversa para garantir que materiais sustentáveis não percam sua função ecológica por falhas no descarte ou na comunicação com o consumidor.

Além das regulamentações específicas sobre segurança alimentar, o uso do PLA em embalagens está sujeito a uma série de certificações, como as que atestam sua compostabilidade. Em alguns países, essas certificações seguem normas da ASTM ou da ISO, que testam a capacidade do material de se decompor em ambientes controlados, sem deixar resíduos tóxicos. No Brasil, iniciativas como o selo de “produto compostável” têm sido desenvolvidas, mas ainda carecem de maior divulgação e reconhecimento por parte do público e das empresas (Ebling, 2024).

Em síntese, as normas e regulamentações sobre o uso do PLA em embalagens de alimentos ainda estão em fase de consolidação no Brasil, especialmente se comparadas às regras existentes para plásticos tradicionais. Conforme mostram os estudos de Ebling (2024), Dos Santos Souza *et al.* (2019), Almeida *et al.* (2015) e Santos *et al.* (2018), é imprescindível que as inovações tecnológicas no setor de embalagens sejam acompanhadas por legislações específicas, atualizadas e baseadas em evidências científicas. Só assim será possível garantir que o uso de materiais alternativos como o PLA realmente contribua para a segurança alimentar e para a preservação ambiental.

3 METODOLOGIA

Este trabalho trata-se de um estudo bibliográfico, desenvolvido a partir da análise e interpretação de publicações científicas, artigos, dissertações, teses e documentos oficiais que abordam o tema. Por meio desse tipo de abordagem, foi possível reunir diferentes pontos de vista e resultados já existentes na literatura, construindo uma base sólida para discutir as vantagens e limitações do PLA de forma crítica e contextualizada.

3.1 Critérios de comparação

Para fazer essa comparação entre o PLA e os plásticos comuns usados em embalagens de alimentos, foi preciso escolher alguns pontos que ajudassem a entender melhor as diferenças entre eles. Os critérios usados foram: de onde vem o material (se é do petróleo ou de fontes renováveis), se o material se decompõe no meio ambiente, como é o processo de produção, se pode ter alguma substância que faz mal à saúde, quanto tempo leva para se decompor, quanto custa para produzir e qual o impacto no meio ambiente depois que é jogado fora.

Esses critérios foram escolhidos porque ajudam a olhar não só se o material é bom para embalar comida, mas também se ele é seguro e se prejudica menos a natureza. Como o trabalho foca nas embalagens, também foi observado se o material aguenta calor, se protege bem o alimento e se pode ser usado em micro-ondas, por exemplo. Assim, foi possível comparar de forma equilibrada os dois tipos de plástico, tanto do ponto de vista ambiental quanto do ponto de vista do uso na prática.

3.2 Análise de ciclo de vida (ACV)

Foi usada a ideia de ciclo de vida para entender melhor o impacto de cada material. Esse ciclo mostra tudo o que acontece com o plástico, desde o momento em que ele é feito até o momento em que é jogado fora. Para isso, o estudo analisou quatro etapas principais: como a matéria-prima é tirada da natureza, como o material é produzido, como ele é usado e o que acontece depois do uso (se é jogado no lixo, reciclado ou compostado).

No caso dos plásticos comuns, foi observado que eles usam petróleo, gastam bastante energia para serem feitos e demoram muito tempo para sumir da natureza. Já o PLA é feito com plantas e tem uma chance maior de se decompor, mas precisa de condições específicas, como compostagem industrial. Então, o ciclo de vida ajuda a ver os pontos positivos e negativos de cada material, e também mostra que nem sempre o plástico biodegradável vai se decompor facilmente se não for descartado do jeito certo.

3.3 Custos e viabilidade econômica

A parte econômica do trabalho serviu para ver se o PLA pode mesmo substituir os plásticos comuns nas embalagens, pensando no quanto custa produzir e no quanto as empresas teriam que gastar para usar esse material. Foi feita uma comparação simples entre os preços dos dois materiais e também uma análise das vantagens e desvantagens de cada um no mercado.

O PLA ainda apresenta um custo de produção mais elevado do que os plásticos convencionais, devido às matérias-primas utilizadas e às etapas adicionais de processamento. No entanto, há um potencial de retorno futuro, principalmente quando se leva em conta a sustentabilidade e a imagem das empresas que adotam esse tipo de material. Estudos como o de Boas (2021) mostram que a análise de viabilidade econômica é essencial para entender se a adoção de novas tecnologias e materiais, mesmo com custo inicial mais alto, pode ser compensadora a longo prazo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

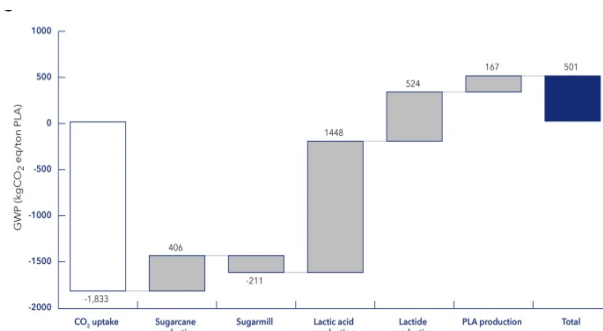
4.1 Comparação de desempenho e impacto ambiental

A análise foi feita considerando aspectos como a origem da matéria-prima, o ciclo de vida, as emissões de CO₂ e o comportamento dos materiais em aplicações práticas, como

embalagens alimentícias. A ideia foi entender se o PLA, mesmo sendo mais caro em alguns casos, pode realmente ser uma alternativa sustentável para o futuro.

A Figura 4 mostra o impacto ambiental do PLA durante todo o seu ciclo de vida, com foco no potencial de aquecimento global (GWP, em kg de CO₂ equivalente por tonelada produzida). Segundo Rezvani Ghomi *et al.* (2021), o PLA tem uma boa capacidade de absorver CO₂ na fase inicial, por causa da matéria-prima vegetal, o que gera uma remoção de cerca de -1.833 kg de CO₂ eq./ton. Porém, esse benefício diminui nas etapas seguintes, principalmente durante a produção do ácido láctico (1.448 kg CO₂ eq.) e do lactídeo (524 kg CO₂ eq.), onde há liberação de gases.

Figura 4 - Impacto ambiental do PLA



Fonte: Rezvani Ghomi *et al.*, (2021)

Barcellos (2021) explica que, mesmo com essas emissões, o impacto final do PLA chega a cerca de 501 kg de CO₂ equivalente por tonelada, o que ainda é melhor do que o impacto dos plásticos fósseis como o PET e o PP, que podem emitir de 1.500 a 3.200 kg de CO₂ eq./ton, conforme a European Bioplastics (2019). Isso mostra que, do ponto de vista ambiental, o PLA tem um desempenho mais favorável ao clima, principalmente quando a origem da matéria-prima e o processo produtivo são levados em conta.

Em relação ao desempenho técnico, o PLA ainda precisa de melhorias em algumas propriedades. Conforme Barcellos (2021), ele tem boa rigidez e resistência à tração, sendo parecido com o PET, mas ainda apresenta limitações em relação à resistência ao calor e à flexibilidade, o que pode dificultar seu uso em algumas embalagens. Por outro lado, ele se destaca na questão da decomposição, já que é biodegradável em ambientes próprios para compostagem, diferente dos plásticos comuns que permanecem por muitos anos na natureza.

(Almeida *et al.*, 2015). Isso reforça a importância de investir em infraestrutura de compostagem e em políticas públicas que incentivem o descarte correto desses materiais.

O Quadro 1 abaixo resume os principais dados da comparação entre PLA e os plásticos convencionais, considerando aspectos ambientais e de desempenho com base nos autores utilizados.

Quadro 1 - Comparação entre PLA e plásticos convencionais (PET e PP)

Critério	PLA	PET/PP
Origem	Renovável (ex: cana-de-açúcar)	Fóssil (petróleo)
Biodegradabilidade	Sim (em compostagem industrial)	Não
GWP (kg CO ₂ eq./ton) ³⁶	501	1.500 a 3.200
Rigidez mecânica	Alta	Alta
Resistência térmica	Moderada	Alta
Aplicações principais	Embalagens, têxteis, cosméticos	Diversas(alimentar, automotiva)
Custo médio por tonelada (R\$)	~12.000	~9.000
Tempo de decomposição	90-180 dias (compostagem)	>100 anos

Fonte: Rezvani Ghomi *et al.*, (2021)

A partir da análise, percebe-se que o PLA, mesmo com um custo de produção ainda superior, apresenta vantagens ambientais significativas, especialmente no que diz respeito à redução de emissões e à possibilidade de reintegração ao ciclo natural de forma mais segura. Ainda assim, como destaca Barcellos (2021), a consolidação do mercado nacional exige incentivos para superar os altos custos iniciais e a necessidade de adaptação da cadeia produtiva. Desse modo, o PLA se mostra como uma alternativa promissora, desde que inserida em um contexto de planejamento ambiental e econômico estratégico.

4.2 Viabilidade econômica do PLA

A viabilidade econômica do PLA ainda é um dos pontos mais debatidos quando se trata da substituição dos plásticos convencionais. Embora o PLA tenha várias vantagens ambientais, seu custo de produção ainda é mais alto em comparação aos plásticos derivados do petróleo. Barcellos (2021) destaca que a produção do PLA envolve etapas tecnológicas

mais complexas, como a fermentação de açúcares e a polimerização, o que aumenta os custos. Mesmo assim, em projetos integrados com usinas de açúcar, como o estudo que ele propôs, é possível reduzir despesas aproveitando o melaço como matéria-prima.

Rezvani Ghomi *et al.* (2021) explicam que o PLA, apesar de mais caro, possui apelo sustentável que pode gerar valor agregado ao produto final. Isso significa que empresas podem compensar os custos mais altos com uma imagem positiva perante o consumidor, especialmente em setores como o alimentício, o têxtil e o farmacêutico, onde a demanda por embalagens e produtos sustentáveis está crescendo. Segundo os autores, à medida que a tecnologia amadurece e o volume de produção aumenta, o custo do PLA tende a diminuir, tornando-se mais competitivo.

Almeida *et al.* (2015) lembram que o uso de materiais biodegradáveis pode evitar gastos futuros com tratamento de resíduos e penalizações ambientais. Ou seja, mesmo que o PLA seja mais caro para produzir, ele pode gerar economia a longo prazo ao evitar o acúmulo de resíduos e reduzir a necessidade de gestão de lixo não biodegradável.

O Brasil tem condições favoráveis para produzir PLA de forma mais competitiva, especialmente ao usar a cana-de-açúcar como matéria-prima, aproveitando toda a estrutura agroindustrial já existente. Mesmo com um custo inicial mais elevado, a produção nacional pode se tornar viável com incentivos fiscais, apoio à inovação e parcerias entre o setor público e privado (Fortuna, 2020). O Quadro 2 apresenta uma comparação econômica entre o PLA e o PET.

Quadro 2 - Comparação econômica entre PLA e PET

Critério	PLA (ácido polilático)	PET (polietileno tereftalato)
Origem	Renovável (ex: cana, milho)	Fóssil (petróleo)
Custo médio por tonelada (US\$)	2.000 a 2.500	1.200 a 1.500
Preço de mercado (US\$)	2.500 a 3.000	1.200 a 1.800
Biodegradável	Sim (em compostagem industrial)	Não
Produção no Brasil	Limitada, mas possível com integração	Ampla e consolidada
Potencial de redução de custos	Médio a longo prazo	Estável

Fonte: Barcellos (2021), Rezvani Ghomi *et al.* (2021)

O PLA, quando comparado ao PET, ainda apresenta um custo de produção mais alto, principalmente por causa das matérias-primas utilizadas e das etapas necessárias para sua fabricação. No entanto, estudos mostram que, com o avanço das tecnologias e a adoção de misturas com outros polímeros, como o PBS, esse custo pode ser reduzido. Além disso, o PLA traz benefícios importantes, como a valorização da imagem das empresas que investem em sustentabilidade. Assim, ele deixa de ser apenas uma alternativa ecológica e passa a ser também uma opção viável economicamente para o futuro (SIN *et al.*, 2019).

4.3 Desafios e perspectivas

Mesmo com as várias vantagens ambientais e técnicas do PLA, ainda existem muitos desafios que precisam ser enfrentados para que ele possa ser usado em larga escala, especialmente no Brasil. Mesmo sendo mais caro para começar, produzir PLA no Brasil pode se tornar viável se for integrado ao agronegócio e contar com apoio público, como incentivos fiscais e subsídios. Assim como mostrou Leite *et al.* (2016) em um estudo com hidroponia, projetos sustentáveis com investimento inicial elevado podem ter bom retorno financeiro quando bem planejados e apoiados por políticas públicas.

Outro desafio importante é a estrutura de descarte. O PLA só se decompõe corretamente em ambientes de compostagem industrial, e no Brasil, esse tipo de sistema ainda é muito limitado. Rezvani Ghomi *et al.* (2021) explicam que, para o PLA realmente cumprir sua função ambiental, ele precisa ser descartado da forma certa. Se for jogado junto com lixo comum ou em locais onde não há compostagem adequada, ele pode se comportar como um plástico comum e demorar muito tempo para se decompor. Isso mostra que, além de incentivar a produção do PLA, também é preciso melhorar o sistema de coleta e compostagem.

Na parte regulatória, o PLA também enfrenta barreiras. Como ressaltado por Ebling (2024), ainda não há normas específicas bem definidas sobre o uso do PLA em contato com alimentos no Brasil. Isso gera incertezas para empresas que desejam investir nesse material. A falta de regulamentações claras atrasa a adoção do PLA em setores importantes, como o de embalagens alimentícias, onde a segurança e a padronização são exigências básicas.

Apesar de tudo isso, as perspectivas para o PLA são positivas. Com o aumento da preocupação ambiental no mundo todo e a exigência de soluções mais sustentáveis, materiais como o PLA devem ganhar mais espaço nos próximos anos. Hirashima *et al.* (2022) afirmam

que novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para melhorar as propriedades físicas e térmicas do PLA, o que pode ampliar seu uso em diferentes áreas, incluindo o setor automotivo, têxtil e de saúde. A pesquisa com aditivos e combinações com outros polímeros também abre possibilidades para resolver as limitações atuais do material.

Dessa forma, o futuro do PLA depende do esforço conjunto entre indústria, governo e sociedade. Os desafios ainda são grandes, mas as oportunidades também. Com mais investimento, regulação adequada e conscientização da população, o PLA pode deixar de ser uma alternativa experimental e passar a ocupar um lugar importante no mercado de embalagens e outros setores.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O estudo realizado permitiu compreender as vantagens, limitações e possibilidades do uso do PLA como uma alternativa aos plásticos convencionais, especialmente em embalagens de alimentos. Ficou evidente que o PLA apresenta um desempenho ambiental mais positivo, com menor emissão de gases de efeito estufa, origem em fontes renováveis e potencial de biodegradação, desde que descartado de forma adequada. Seu uso contribui para a redução dos impactos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos plásticos, sendo uma resposta viável à crescente demanda por soluções sustentáveis.

Apesar dos benefícios, ainda existem obstáculos a serem superados, como o alto custo de produção, a necessidade de infraestrutura para compostagem industrial e a falta de regulamentações específicas no país. Esses fatores dificultam a expansão do uso do PLA em larga escala. Por outro lado, as perspectivas são promissoras, com o avanço das tecnologias de produção, o aumento da conscientização ambiental e o interesse de diversos setores em adotar materiais sustentáveis.

Dessa forma, o PLA se mostra como uma alternativa real para substituir parte dos plásticos derivados do petróleo, desde que sejam criadas condições adequadas para seu desenvolvimento e uso responsável. O futuro desse material depende de ações integradas que envolvam pesquisa, inovação, políticas públicas e educação ambiental, para que ele possa ser acessível, funcional e, de fato, sustentável.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Análise económica, ambiental e social da introdução de uma nova taxa sobre outros descartáveis de plástico fóssil.** Amadora, 2018. Disponível em: https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/FluxosEspecificosResiduos/ERE/Relatorio_descartaveis_APA_fev2018_vf.pdf. Acesso em: 18 fev. 2026.
- ALMEIDA, Ana Carolina Sergio et al. Aplicação de nanotecnologia em embalagens de alimentos. **Polímeros**, v. 25, p. 89–97, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/6ZNBxpxLWHcJJPY8vMZTFWn/>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- ASSANUMA, Hélio Junior Shinkai. **Avaliação das propriedades mecânicas e térmicas do poli(ácido láctico) com a adição de Therpol® como modificador de impacto.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2024. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/34987>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- AZEVEDO, Larissa Guimarães. **Bioplástico: alternativa viável e sustentável ao plástico convencional.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Católica do Salvador, Salvador, 2019. Disponível em: <https://ri.ucsal.br/handle/prefix/4527>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- BARRETO, Rafaela Cilene Souza. **Análise comparativa das viabilidades técnica e ambiental de fibras ópticas de plástico de origem fóssil e renovável.** 2024. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia em Materiais) – Faculdade de Engenharia e Ciências, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Guaratinguetá, 2024. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/257400>. Acesso em: 16 fev. 2026.
- BETTONI, Augusto Rizzardo et al. Elaboração de biopolímeros com resíduos de malte utilizado na fabricação de cerveja. In: SALÃO DE PESQUISA, EXTENSÃO E ENSINO DO IFRS, 7., 2022, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: Instituto Federal do Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: https://eventos.ifrs.edu.br/index.php/Salao_IFRS/7salao/paper/view/13065. Acesso em: 18 fev. 2026.
- CASAGRANDE, Thiago. **Comparação técnica, econômica e ambiental entre telhas de material reciclado e telhas convencionais.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário UNIFACVEST, Lages, 2021. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/57d89-casagrande,-t.-comparacao-tecnica,-economica-e-ambiental-entre-telhas-de-material-reciclado-e-telhas-convencionais,-2021.-tcc-defendido-em-julho-de-2.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- DONATI, Nicolý. **Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis à base de amido de mandioca e cinza da casca de arroz revestidos com os polímeros biodegradáveis PLA e PBAT.** 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio

Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/252991>. Acesso em: 19 fev. 2026.

EBLING, Driele Leão. **Embalagens plásticas para alimentos: avaliação do uso de materiais preocupantes do ponto de vista toxicológico em um hospital do Rio Grande do Sul**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/274097>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. *What is the circular economy?* Cowes, 2017. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>. Acesso em: 19 fev. 2026.

FERNANDES, Teresa Maria Dias. **Preparo e caracterização das propriedades de misturas ternárias de PLA/PBAT/NBR**. 2018. 130 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/15646>. Acesso em: 19 fev. 2026.

FIRMINO, Anna Júlia Greggi; FIGUEIREDO, Geovana de Camargo; ESPANHA, Thamires Vitória. **Cascaúdo: bioplástico por meio da casca da banana**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio) – ETEC Francisco Garcia, Mococa, 2024. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/27078>. Acesso em: 19 fev. 2026.

FORTUNA, Ana Luísa Lobo. **Impactos ambientais dos plásticos: biopolímeros como alternativa para a redução do acúmulo de embalagens flexíveis de polipropileno no meio ambiente**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/12581>. Acesso em: 19 fev. 2026.

FRANÇA, Débora et al. As faces dos plásticos: uma proposta de aula sobre sustentabilidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 277-286, ago. 2022. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc44_3/03-ODS-61-21.pdf. Acesso em: 19 fev. 2026.

GONZAGA, Graziela Lisboa. **Comportamento da biodegradação de amostras de PLA natural e pigmentado obtidas por impressão 3D**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana (FEI), São Bernardo do Campo, 2021. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/handle/FEI/3274>. Acesso em: 19 fev. 2026.

HIRASHIMA, Vitor Massami Barroso et al. Aplicação de tecnologia supercrítica na produção de espumas de PLA e impregnação de cetoprofeno visando à liberação controlada do fármaco. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 25, n. 2, p. 63–86, abr. 2024. Disponível em: <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2024/12/2024-25-2-63-86-1.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2026.

KOKUBUN, Carolina Yumi Nozawa. **Alternativas sustentáveis para a diminuição do plástico convencional em embalagens flexíveis alimentícias**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Sorocaba, 2023. Disponível em:

<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/3c654db3-1d16-47db-8e05-712a06e26011/content>. Acesso em: 19 fev. 2026.

LANDIM, Ana Paula Miguel et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, n. spe, p. 82–92, 2016. Disponível em:

<https://www.scienceopen.com/document?vid=cdc9ecc9-f478-45e7-901c-815486becace>. Acesso em: 19 fev. 2026.

LEITE, Décio et al. Viabilidade econômica da implantação do sistema hidropônico para alface com recursos do PRONAF em Matão-SP. **Revista IPecege**, v. 2, n. 1, p. 57–65, 2016.

LINAN, Lamia Zuniga; SANTOS, Denilson Moreira; RODRÍGUES, José Roberto. Estudo exploratório e construção de membranas poliméricas de PLA e PMMA com derivados lignocelulósicos. **Revista ION**, v. 35, n. 1, p. 43-66, 2022. Disponível em:

<https://www.redalyc.org/journal/3420/342073633004/html/>. Acesso em: 19 fev. 2026.

LOPES, Jessica Rafaelly Almeida; OLIVEIRA, Janaína Cortêz de; FERREIRA FILHO, Joilson Marques. Viabilidade ambiental na indústria de envase de água mineral. In:

CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2019. **Anais [...]**. Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conimas-e-conidis/2019/TRABALHO_EV133_MD1_SA45_ID2106_31102019214431.pdf. Acesso em: 20 fev. 2026.

LORO, Diego Henrique; MAESTRELLI, Sylma Carvalho. **Termoplásticos biodegradáveis de base biológica: um review**. Publicações, 2023. Disponível em:

<https://sciprofiles.com/publication/view/0e43a65d278c633fb1c6a6b8cf2cbc7b>. Acesso em: 20 fev. 2026.

MELLO, Jamyly Ludimily Amorim; VIEIRA, Larissa Moraes; GITAHY, Paula Fernanda Scovino de C. R. Uma comparação entre bioconstrução e construção tradicional: análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental. In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO (ENSUS), 7., 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244753>. Acesso em: 20 fev. 2026.

MIRANDA, Luan Carlos de Oliveira. Logística reversa e economia circular: desafios e perspectivas no Brasil. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufal.br/repd/article/download/15955/11112/66119>. Acesso em: 20 fev. 2026.

MONTESANTI, Beatriz Faria; CARELLI, Giulia Côte-Real. **Avaliação do ciclo de vida de embalagens de entrega de comida no Brasil**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11422/15938>. Acesso em: 20 fev. 2026.

OLIVEIRA, Julia Delmondes de et al. Comparação da sustentabilidade ambiental, econômica e social para execução de calçadas. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 8, n. 5, p. 75-91, nov. 2022. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5594/4918>. Acesso em: 20 fev. 2026.

PROCHNOW, Alexia Back. **Design em busca de menor impacto ambiental: redesenho de embalagens para alimentos orgânicos de produção local**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design de Produto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/263210>. Acesso em: 20 fev. 2026.

REZVANI GHOMI, Erfan et al. *The life cycle assessment for polylactic acid (PLA) to make it a low-carbon material*. **Polymers**, Basel, v. 13, n. 11, p. 1854, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/11/1854>. Acesso em: 20 fev. 2026.

RODRIGUES, Samara Clotildes Saraiva. **Desenvolvimento de filmes poliméricos biodegradáveis à base do amido extraído do babaçu e de milho para aplicação em embalagens de alimentos**. 2022. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/2568>. Acesso em: 20 fev. 2026.

SÁ, Natália de. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de polímeros, materiais e embalagens**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/235736>. Acesso em: 20 fev. 2026.

SANTOS, Janaina Fisk Xavier dos; PEREIRA, Marcello Rogério Rodrigues; YOSHIKAWA, Milhyan Lumi. **Ecoearth: embalagens compostáveis**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Técnico em Administração) – Escola Técnica Estadual Albert Einstein, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/21355>. Acesso em: 20 fev. 2026.

SANTOS, Maria Clara Leopoldino et al. Rotulagem da goma de tapioca. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 330-338, 2018. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/2085>. Acesso em: 20 fev. 2026.

SANTOS, Talia Simões dos et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, p. 595-602, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/gZgg9y4kV5RrgK8Mv6J9YNh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SCAPIM, Mônica Regina da Silva. **Produção, caracterização, aplicação e biodegradabilidade de filmes de blendas de amido e poli (butileno adipato co-tereftalato) produzidos por extrusão**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009. Disponível em: <https://repositorio.uel.br/handle/123456789/12105>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SILVA, Fernando Afonso da; RABELO, Denilson. O uso sustentável de polímeros. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 9-16, 2017. Disponível em: https://senaigoias.com.br/repositoriosites/repositorio/senai/download/Publicacoes/Revista_Cientifica_Processos_Quimicos_/2016/RPO_21_FINAL__WEB.pdf. Acesso em: 18 fev. 2026.

SILVA, Hélio Rodrigues da; MARCONCINI, José Maurício; MATTOSO, Luiz Henrique Capparelli. Blendas de poliácido láctico (PLA) e amido termoplástico (TPS): efeito da compatibilização na morfologia e propriedades mecânicas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 25, n. 3, p. 247-255, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/yznJ9PZqSb9vV8cnkGdb6Mk/>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SILVA, Murilo Hudson da et al. Avaliação da biodegradação de parafusos de interferência de ácido láctico (PLA), em solução fosfato salina, fabricados em impressora 3D para aplicações biomédicas em cirurgias ortopédicas. **Revista Eletrônica do Seminário de Iniciação Científica da UFERSA**, v. 30, n. 1, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/rsemic/article/view/13735>. Acesso em: 19 fev. 2026.

SILVA, Rodrigo Pereira da. **Reciclagem ambiental de embalagens cartonadas: métodos e desafios na destinação sustentável**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2025. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/36460>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SOBREIRA, Gabriel Araújo. **O direito internacional no combate à poluição dos mares por plástico: responsabilidade estatal, instrumentos jurídicos viáveis para controle de condutas e possíveis sanções para um Brasil poluidor do meio ambiente marinho**. 2019. Monografia (Graduação em Direito) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/49295>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SOUSA, Karen. **Embalagens ativas para a manutenção da qualidade dos alimentos**. 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/5311>. Acesso em: 21 fev. 2026.

SOUZA, Michaela dos Santos; FONSECA, Vinicius Cardoso; RIBEIRO, Paulo Leonardo Lima. Análise dos efeitos da migração do bisfenol A em embalagens de alimentos de politereftalato de etileno. **Apoena**, v. 2, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://publicacoes.unijorge.com.br/apoena/article/view/237>. Acesso em: 27 fev. 2026.

SOUZA, Patrícia Moraes Sinohara et al. Estudo da influência de argilas organofílicas no processo de biodegradação do PLA. **Polímeros**, São Carlos, v. 24, n. 1, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/DGSMg73MCS3qqPhtCR3pwcJ/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2026.

SPROESSER, Giovanna Ruis et al. Logística reversa e sustentabilidade de embalagens na indústria cosmética: um caminho para o futuro. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 15, n. 11, e4483, 2024. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/4483>. Acesso em: 21 fev. 2026.

VALLE, Mariana Pereira Viana; GUARNIERI, Patricia; FILIPPI, Amanda Cristina Gaban. Adoção de embalagens plásticas sustentáveis agroalimentares: um olhar na dinâmica da produção orgânica e sustentável em face da Economia Circular. **Interações**, Campo Grande, v. 24, p. 211-227, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/inter/a/7LrQvW7sJpH4tKdKG9fXyng/?lang=pt>. Acesso em: 27 fev. 2026.

VILAS BOAS, José Miguel Moreira. **Estudo de viabilidade económica de um projeto na indústria de injeção de plástico e implementação de ferramentas lean**. 2021. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Universidade do Minho, Braga, 2021. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/78187>. Acesso em: 27 fev. 2026.

WOLFFENBÜTTEL, Rodrigo Foresta. Representações e práticas empresariais sobre sustentabilidade, o caso do plástico verde. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 6, n. 10, p. 202–233, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/NORUS/article/view/15789/9941>. Acesso em: 27 fev. 2026.