

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA DE ECONOMIA E NEGÓCIOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE**

FERNANDO TADEU DA SILVA DOS SANTOS

**ECONOMIA CIRCULAR: BARREIRAS E FACILITADORES PARA A
CIRCULARIDADE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS PÓS-CONSUMO**

CAMPINAS - SP

2025

FERNANDO TADEU DA SILVA DOS SANTOS

**ECONOMIA CIRCULAR: BARREIRAS E FACILITADORES PARA A
CIRCULARIDADE DE EMBALAGENS PLÁSTICAS PÓS-CONSUMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sustentabilidade da Pontifícia Universidade Católica de Campinas para a obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade.

Área de Concentração: Sustentabilidade

Linha de Pesquisa: Planejamento, Gestão e Indicadores de Sustentabilidade

Orientador: Professor Dr. Diego de Melo Conti

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237e	Santos, Fernando Tadeu Silva Economia circular: barreiras e facilitadores para a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo / Fernando Tadeu Silva Santos. - Campinas: PUC-Campinas, 2025. 105 f.il. Orientador: Diego de Melo Conti. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade) - Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade, Escola de Economia e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025. Inclui bibliografia. 1. Economia Circular. 2. Embalagens plásticas pós-consumo. 3. Sustentabilidade. I. de Melo Conti, Diego. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola de Economia e Negócios. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Sustentabilidade. III. Título.
-------	--

FERNANDO TADEU DA SILVA DOS SANTOS

**ECONOMIA CIRCULAR: BARREIRAS E FACILITADORES PARA A CIRCULARIDADE
DE EMBALAGENS PLÁSTICAS PÓS-CONSUMO.**

Este exemplar corresponde à redação
final da Dissertação de Mestrado em
Sustentabilidade da PUC-Campinas, e
aprova da pela Banca Examinadora.

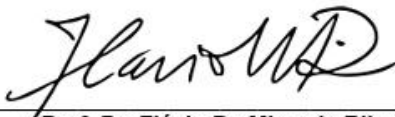
APROVADO: 18 de agosto de 2025.



Prof. Dr. Diego de Melo Conti
(Orientador - PUC-CAMPINAS)



Prof. Dr. Marcos Ricardo Rosa Georges
(PUC-CAMPINAS)



Prof. Dr. Flávio De Miranda Ribeiro
(UNISANTOS)

AGRADECIMENTOS

A educação e o constante desenvolvimento mudam histórias. Para mim, não foi diferente.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por me sustentar nos momentos de dificuldade e por me fazer repousar com serenidade nos momentos de leveza. Sua presença foi essencial em cada etapa desta caminhada.

Expresso minha gratidão a todos os funcionários da universidade, com destaque ao corpo docente, composto por doutores que, de forma brilhante, transmitiram conhecimento com dedicação e excelência. À professora Dra. Bruna A. Branchi, coordenadora do programa, agradeço a condução firme e inspiradora do curso. Ao meu orientador e amigo, Dr. Diego de Melo Conti, registro minha profunda admiração e respeito. Seu acompanhamento próximo, seu olhar crítico e seu apoio constante foram decisivos para a concretização deste trabalho. Sem você, esta dissertação não teria se materializado.

Aos meus familiares, minha eterna gratidão. À minha mãe, Dona Gilda, à minha filha, Ketlyn Fernanda, e meus irmãos Rafael e Franciele, obrigado pela compreensão, pelo carinho e pela força nos momentos mais exigentes. Vocês são meu porto seguro e minha maior motivação. Ao meu amor, Elisabete, minha parceira de vida: obrigado por sempre acreditar que eu seria capaz, por me corrigir nos momentos de distração, por entender os silêncios do cansaço e por estar ao meu lado incondicionalmente. Sem você, esse caminho teria sido muito mais árduo, com você, ele foi mais possível.

Deixo ainda meu sincero agradecimento a três grandes amigos que ganhei ao longo dessa jornada: Daniele Coradini, Diego Vedovato e Marco Antônio. Que nossa amizade siga firme e duradoura. Foi um privilégio dividir essa trajetória com vocês.

Finalizo com um pensamento que resume essa caminhada: *“A educação transforma não apenas destinos, mas o próprio olhar sobre o mundo.”* Que este olhar transformado continue guiando meus passos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“A circularidade não se alcança apenas pela reciclabilidade do material, mas pela articulação entre design, infraestrutura e decisão política. Sem integração, o ciclo se quebra antes mesmo de começar.”

O autor.

RESUMO

A crescente geração de resíduos sólidos urbanos, associada à baixa taxa de reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo, representa um dos principais desafios ambientais contemporâneos. No Brasil, apesar da ampla utilização desses materiais pela indústria, sua reincorporação ao ciclo produtivo ainda é limitada. Nesse contexto, a Economia Circular (EC) surge como alternativo ao linear, priorizando a regeneração e o uso eficiente e contínuo dos recursos naturais, desde a fase de design até a reintegração de resíduos nos ciclos produtivos. Esta pesquisa teve como objetivo analisar os fatores que favorecem ou dificultam a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo, com foco nas características técnicas dos materiais, nas soluções adotadas e nas barreiras enfrentadas na gestão desses resíduos. Com abordagem qualitativa e natureza aplicada, a pesquisa foi conduzida por meio de estudo de caso único em uma microempresa do setor de reciclagem. Os dados foram coletados por meio de visita técnica, análise documental, observações em campo e registros fotográficos, sendo analisados com base na técnica de Análise Temática Categorial. Os resultados demonstraram que a circularidade dessas embalagens está condicionada a variáveis como composição polimérica, nível de contaminação e estrutura de triagem disponível. Embalagens monomateriais apresentaram maior reciclabilidade, enquanto embalagens complexas ou contaminadas foram frequentemente destinadas ao coprocessamento. Conclui-se que os fatores que podem favorecer ou dificultam a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo dependem da articulação entre design de embalagens, infraestrutura tecnológica e políticas públicas. A pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre economia circular aplicada a resíduos plásticos e oferece subsídios relevantes para o setor de embalagens e reciclagem.

Palavras-chave: Economia Circular; Embalagens Plásticas; Reciclagem; Sustentabilidade; Logística Reversa.

ABSTRACT

The growing generation of municipal solid waste, combined with the low recycling rate of post-consumer plastic packaging, represents one of the main contemporary environmental challenges. In Brazil, despite the widespread use of these materials by industry, their reintegration into the production cycle remains limited. In this context, the Circular Economy (CE) emerges as a strategic model to reduce waste and promote efficient resource use. This research aimed to analyze the factors that enable or hinder the circularity of post-consumer plastic packaging, focusing on material characteristics, adopted solutions, and barriers encountered along the waste management chain. Using a qualitative and applied approach, the study was conducted through a single case study in a microenterprise operating in the recycling sector. Data were collected through a guided technical visit, document analysis, field observations, and photographic records, and analyzed using thematic content analysis. The results showed that the circularity of such packaging is conditioned by factors such as polymer composition, contamination level, and available sorting infrastructure. Monomaterial packaging exhibited higher recyclability, while complex or contaminated packaging was often directed to co-processing. It is concluded that the practical viability of circularity depends on the articulation between packaging design, technological infrastructure, and public policies. This research contributes to advancing knowledge on circular economy practices applied to plastic waste and offers valuable insights for the packaging and recycling sectors.

Keywords: Circular Economy; Plastic Packaging; Recycling; Sustainability; Reverse Logistics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transição para o modelo econômico circular	20
Figura 2 - Evolução conceitual da Economia Circular	23
Figura 3 - Família ABNT NBR ISO 59020.....	26
Figura 4 - Conceito de ciclos abertos e fechados	27
Figura 5 - Diagrama de Borboleta da EC.....	30
Figura 6 - Detalhamento do ciclo técnico da EC.....	34
Figura 7 - Símbolos, números e siglas inscritas nas embalagens plásticas	43
Figura 8 - Representação do ciclo da cadeia do plástico	46
Figura 9 - Galpão de armazenamento temporário	63
Figura 10 - Fluxo operacional	64
Figura 11 - Recebimento de embalagens pós-consumo e pós-industrial	65
Figura 12 - Armazenamento temporário de caixarias e de material a granel.....	66
Figura 13 - Triagem de sucata plástica pós-industrial.....	68
Figura 14 - Compactação de plásticos	70
Figura 15 - Embalagens pós consumo em etapa de triagem	70
Figura 16 - Remoção de tampas e outras contaminantes	71
Figura 17 - Processamento de embalagens PET	72
Figura 18 - Aglutinação do PET	73
Figura 19 - Rejeito do processo de triagem.....	74
Figura 20 - Gráfico comparativo de reciclabilidade de embalagens por tipo de polímero	77
Figura 21 - Série temporal de recebimento e processamento de embalagens plásticas pós consumo	79
Figura 22 - Gráfico de distribuição por tipologia de embalagens plásticas processadas	80
Figura 23 - Gráfico de produtividade operacional.....	82
Figura 24 - Gráfico comparativo entre faturamento e despesa.....	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Definições de economia circular	24
Quadro 2 - Principais polímeros utilizados em embalagens plásticas no Brasil	44
Quadro 3 - Metas do SLR de Embalagens em Geral de SP.....	51
Quadro 4 - Síntese metodológica	55
Quadro 5 - Critérios para análise documental	58
Quadro 6 - Critérios para o registro fotográfico	58
Quadro 7 - Categoria de análise temática	60
Quadro 8 - Caracterização geral da Empresa Alpha	63
Quadro 9 - Característica das embalagens plásticas pós consumo processadas	75
Quadro 10 - Rota de destinação de materiais processados	84
Quadro 11 - Faturamento aproximado com a comercialização de materiais plásticos ..	86
Quadro 12 - Princípios da EC e a relação com o modelo de negócio	88

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivo Geral	16
1.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Justificativa.....	17
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	19
2.1 ECONOMIA CIRCULAR	19
2.1.1 Economia Circular – contextualização	19
2.1.2 Desenvolvimento conceitual da Economia Circular.....	21
2.1.3 Economia Circular – conceitos e definições	24
2.1.4 Modelo conceitual de Economia Circular desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation	28
2.1.5 Níveis de implantação da Economia Circular	35
2.2 EMBALAGENS PLÁSTICAS PÓS-CONSUMO.....	41
2.2.1 Embalagens plásticas pós-consumo no Brasil: polímeros predominantes, aplicações e relevância para a circularidade.....	42
2.2.2 A cadeia de reciclagem do plástico	45
2.2.3 Tipos de reciclagem de plástico	47
2.3 Logística Reversa de Embalagens Pós Consumo	49
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	53
4. RESULTADOS	62
4.1 Visão Geral da empresa.....	62
4.2 Fluxo operacional da unidade produtiva.....	64
4.3 Caracterização das embalagens plásticas pós-consumo processadas	74

4.4 Eficiência operacional	78
4.4.1 Volumes anuais processados	78
4.4.2 Indicadores de produtividade	81
4.4.3 Principais gargalos operacionais observados	83
4.5 Destinações dos materiais processados	84
4.6 Avaliação econômica nas destinações dos materiais processados	85
4.7 Relação do modelo de negócio com os princípios da Economia Circular	87
5. DISCUSSÃO	91
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
REFERÊNCIAS	100

1. INTRODUÇÃO

A população mundial cresceu de forma expressiva nas últimas décadas, passando de aproximadamente 3,3 bilhões de pessoas em 1965 para cerca de 8,2 bilhões em 2024. Esse crescimento demográfico foi acompanhado pela intensificação do comércio global, pela migração da população rural para centros urbanos e industriais, e pela ascensão da classe consumidora, que, segundo estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2024a), representará 60% da população mundial até 2030. Esse aumento populacional, aliado à crescente demanda por produtos e serviços, tem pressionado ainda mais os recursos naturais e os sistemas ecológicos do planeta.

Nos últimos 150 anos, especialmente após a Primeira Revolução Industrial e a consolidação da produção em massa, adotou-se predominantemente o modelo econômico linear de produção e consumo. Nesse sistema, recursos naturais são extraídos, transformados em produtos e, ao final de sua vida útil, descartados. Essa lógica de extrair, produzir e descartar, resultou em uma sobrecarga ecológica global, estimada em 1,5 vezes a biocapacidade do planeta, ou seja, a demanda humana por recursos e serviços ecossistêmicos já excede a capacidade da natureza em se regenerar e absorver os resíduos gerados (Weetman, 2022). Como consequência direta desse modelo insustentável, a crise ambiental atual se apresenta em várias frentes, criando desafios econômicos e sociais interligados.

A crise ambiental atual impõe múltiplos desafios: escassez de matérias-primas, instabilidade de custos, crises hídricas e alimentares, e a persistência de desigualdades socioeconômicas. De acordo com dados da ONU (2024a), cerca de 780 milhões de pessoas vivem abaixo da linha da pobreza, com menos de US\$ 1,90 por dia. Além disso, aproximadamente 4 bilhões de pessoas enfrentam escassez de água durante pelo menos um mês por ano, e estima-se que 1,8 bilhão de pessoas vivem em regiões de escassez hídrica absoluta (ONU, 2024b).

Diante desse cenário, e impulsionado por estudos científicos sobre a chegada de uma nova era geológica, o Antropoceno – que se caracteriza pela intervenção humana nos processos biofísicos do planeta (Lowande, 2023) – a Economia Circular (EC) surge como uma alternativa sistêmica ao modelo linear. Diferentemente da economia linear, a

EC propõe um modelo regenerativo que prioriza o uso eficiente e contínuo dos recursos, desde a fase de design até a reintegração de resíduos nos ciclos produtivos (CNI, 2024; Weetman, 2022).

A Economia Circular tem ganhado reconhecimento internacional, sendo incorporado em políticas públicas de países como China, Japão, Reino Unido, Canadá, Holanda, Suécia e Finlândia. No Brasil, destacam-se dois marcos importantes: (i) a publicação da série de normas ABNT NBR ISO 59000 – que trata dos princípios e práticas associadas à EC e; (ii) a Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC) – política pública federal elaborada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), com apoio da Confederação Nacional da Indústria (CNI), do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e de representantes da sociedade civil. Esses marcos refletem a crescente adesão do Brasil aos princípios da Economia Circular, com um foco estratégico em transformar práticas produtivas e consumir de forma mais sustentável.

A ENEC estabelece diretrizes estratégicas para a transição do Brasil para uma economia circular, priorizando ações nos setores industriais, incentivo à inovação, a criação de indicadores de circularidade, o desenvolvimento de infraestrutura para a cadeia de reciclagem e o fortalecimento das compras públicas sustentáveis. O documento é considerado um marco na integração das políticas industriais e ambientais e aponta caminhos concretos para redução da geração de resíduos sólidos, o aumento da eficiência no uso dos recursos e a promoção da competitividade sustentável do país (Sandoval, 2018; CNI, 2024).

Nesse contexto, observa-se a atuação integrada de diferentes atores — governo, setor privado, academia e sociedade civil — no desenvolvimento de estratégias circulares. O Poder Público, por meio da formulação de políticas; a academia, com a produção de conhecimento técnico-científico; o setor empresarial, com a criação de novos modelos de negócio; e os cidadãos, cada vez mais conscientes ambientalmente, colaboram para a consolidação de práticas sustentáveis.

Dentre os produtos amplamente utilizados e descartados em larga escala, as embalagens plásticas pós-consumo destacam-se como um dos principais desafios à circularidade. Utilizadas para o acondicionamento de alimentos, bebidas, produtos de

higiene, limpeza, medicamentos e insumos agrícolas, essas embalagens representam um dos maiores fluxos de resíduos sólidos urbanos. Em 2023, segundo a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), foram produzidas mais de 2,2 milhões de toneladas de embalagens plásticas no país, com destaque para a indústria alimentícia e de higiene como principais consumidoras (ABIPLAST, 2024).

Essas embalagens, compostas majoritariamente por polímeros como polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD), polipropileno (PP), politereftalato de etileno (PET) e poliestireno (PS), possuem propriedades físico-químicas que influenciam diretamente sua reciclabilidade e a consequente reincorporação nos processos produtivos.

Apesar de os plásticos utilizados nessas embalagens serem, em sua maioria, tecnicamente recicláveis, no Brasil recicla-se apenas 24,3% das embalagens plásticas rígidas e 9% das embalagens plásticas flexíveis (ABIPLAST, 2024; ABIEF, 2024). As dificuldades envolvem desde a coleta seletiva insuficiente, a contaminação dos materiais, a falta de incentivos para o setor da reciclagem, até os altos custos logísticos e a falta de mercado consumidor para reciclados de baixa qualidade.

As dificuldades relatadas no parágrafo anterior culminam muitas das vezes na disposição desses materiais em aterros sanitários e lixões, o que acarreta impactos ambientais relevantes e contraria os princípios da economia circular. Ao mesmo tempo, a maior parte dessas embalagens é produzida a partir de resina virgem derivada do petróleo, um recurso não renovável, o que agrava o cenário de insustentabilidade (Benzi, 2024).

No Brasil, as cooperativas de catadores e pequenas empresas atuantes no setor de gestão de resíduos exercem papel estratégico para a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo, pois atuam diretamente na cadeia de gestão dos resíduos plásticos, especialmente na triagem e comercialização de materiais recicláveis. No entanto, muitas dessas organizações operam com infraestrutura precária, baixa capacidade de agregação de valor e acesso limitado a tecnologias que poderiam elevar a eficiência do processo.

Tal fato é reforçado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que após sua vigência, estabeleceu marcos para a gestão integrada de

resíduos, incluindo a extinção dos lixões, a implementação de sistemas de logística reversa, a valorização dos materiais recicláveis e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Contudo, os índices de reciclagem de plásticos no Brasil permanecem baixos, e o retorno efetivo de materiais ao ciclo técnico da economia circular ainda está distante da meta de países mais desenvolvidos (ABREMA, 2023).

Faz-se necessário, portanto, aprofundar o debate sobre os entraves à circularidade das embalagens plásticas pós-consumo no Brasil, especialmente no que tange à viabilidade técnica e econômica da reciclagem de seus polímeros constituintes.

Neste contexto, as perguntas que orientam a presente pesquisa são: embalagens plásticas, ainda que compostas por polímeros tecnicamente recicláveis, possuem viabilidade prática para manter-se no ciclo técnico da economia circular? Quais fatores favorecem ou dificultam essa manutenção?

Com base nessas questões, o presente trabalho tem como objetivo principal identificar os fatores que favorecem ou dificultam a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo, a partir da análise de um caso real. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, baseada em observações em campo, análise documental e registros fotográficos.

A presente dissertação está organizada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução do tema, os objetivos da pesquisa, a justificativa e a metodologia adotada. O Capítulo 2 traz a revisão de literatura, abordando os principais conceitos e estudos sobre Economia Circular, a reciclagem de embalagens plásticas e logística reversa. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada, incluindo o tipo de estudo, os métodos de coleta e análise de dados, e os critérios de pesquisa. No Capítulo 4, são apresentados e analisados os resultados da pesquisa, com destaque para os facilitadores e desafios enfrentados na implementação da Economia Circular. Por fim, o Capítulo 5 sintetiza os principais achados e o Capítulo 6 apresenta as recomendações para futuras pesquisas e políticas públicas e, apresenta as considerações finais da pesquisa.

1.1 Objetivo Geral

Analisar os fatores que favorecem e os que dificultam a manutenção de embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da economia circular, com foco na

identificação de características materiais, soluções adotadas e barreiras enfrentadas ao longo da cadeia de gestão dessas embalagens, em especial no contexto de micro e pequenas empresas de reciclagem.

1.2 Objetivos Específicos

- Identificar e caracterizar as propriedades das embalagens plásticas pós-consumo que favorecem ou limitam sua permanência no ciclo técnico da economia circular, considerando aspectos como design, composição e reciclabilidade.
- Analisar as soluções e práticas circulares atualmente adotadas por micro e pequenas empresas atuantes na cadeia de coleta, triagem e reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo.
- Identificar e avaliar as principais barreiras técnicas, econômicas e operacionais que dificultam a circularidade das embalagens plásticas pós-consumo no contexto das micro e pequenas empresas de reciclagem.
- Evidenciar os fatores facilitadores que contribuem para ampliar a circularidade das embalagens plásticas no ciclo técnico.
- Relacionar os achados empíricos do estudo de caso com o referencial teórico sobre economia circular, de modo a propor recomendações que fortaleçam a reinserção das embalagens plásticas pós-consumo.

1.3 Justificativa

A avaliação do potencial de circularidade de embalagens plásticas pós-consumo permite identificar barreiras e fatores facilitadores que condicionam a manutenção desses materiais no ciclo técnico da Economia Circular, ampliando a compreensão sobre os principais desafios e oportunidades ao longo da cadeia de gestão de resíduos. A Economia Circular, reconhecida internacionalmente como estratégia capaz de transformar os sistemas de produção e consumo, apresenta potencial para reduzir a geração de resíduos, minimizar a dependência de recursos fósseis e ampliar a eficiência

no uso de materiais, tornando-se um caminho promissor para enfrentar a crise dos resíduos plásticos.

O problema dos resíduos plásticos assume proporções globais: estima-se que mais de 350 milhões de toneladas sejam produzidas anualmente no mundo, das quais uma parcela significativa é destinada a aterros ou dispersa no ambiente, impactando ecossistemas terrestres e marinhos. No Brasil, embora o país figure entre os maiores produtores de plásticos, as taxas de reciclagem ainda permanecem reduzidas, reflexo da predominância de embalagens de difícil reciclabilidade, da falta de padronização dos polímeros utilizados, de deficiências na coleta seletiva e da baixa articulação entre os elos da cadeia. Nesse cenário, micro e pequenas empresas desempenham papel central nas etapas de coleta, triagem e reciclagem, mas operam em condições limitadas, marcadas por desafios tecnológicos, econômicos e logísticos.

Assim, este estudo se justifica pela necessidade de aprofundar a compreensão sobre a viabilidade prática de manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular, especialmente no contexto brasileiro, em que há uma lacuna de pesquisas aplicadas voltadas para a realidade das micro e pequenas empresas. Ao evidenciar as barreiras e os fatores facilitadores para a circularidade, a pesquisa busca contribuir não apenas para o avanço do conhecimento acadêmico, mas também para subsidiar políticas públicas, estratégias empresariais e práticas sustentáveis que possam fortalecer o setor de embalagens e reciclagem, reduzindo os impactos ambientais, sociais e econômicos associados ao descarte inadequado dos resíduos plásticos.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta o referencial teórico que fundamenta a Economia Circular (EC), abordando suas principais escolas de pensamento, modelos conceituais e marcos normativos, com destaque para o modelo da Ellen MacArthur Foundation e para a recente família ISO 59000. São discutidos os princípios reguladores da EC, os ciclos biológicos e técnico e os níveis de implantação (micro, meso e macro), que estruturam a transição de sistemas lineares para circulares. De forma complementar, são introduzidos os conceitos aplicados às embalagens plásticas pós-consumo, incluindo sua reciclabilidade, tipologias de reciclagem e a logística reversa prevista na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esse arcabouço fornece a base necessária para compreender os desafios e oportunidades da circularidade das embalagens plásticas no contexto brasileiro, conforme demonstrados a seguir.

2.1 Economia Circular

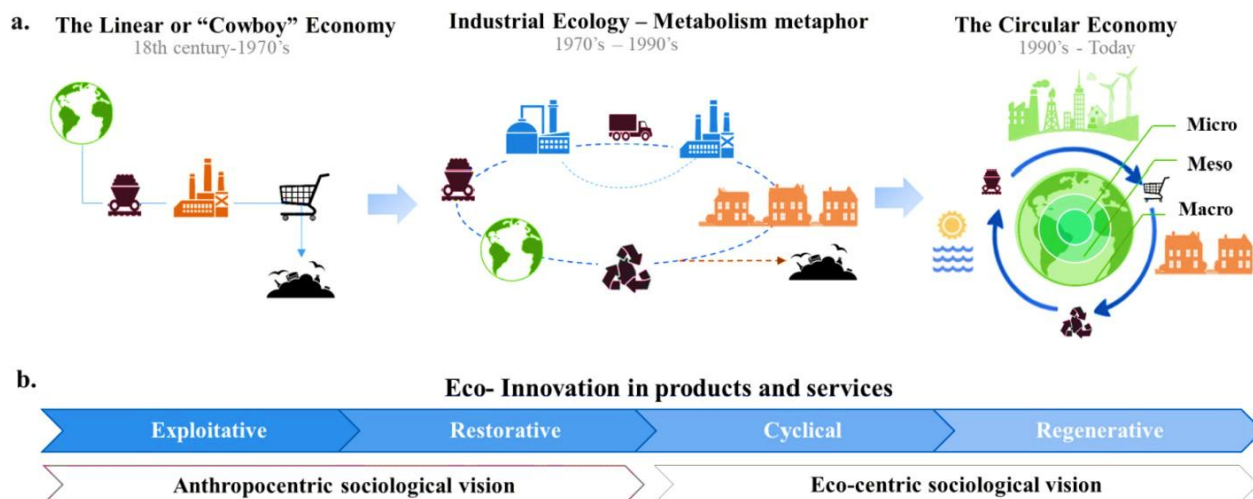
Esta seção apresenta o referencial teórico da Economia Circular, abordando as principais escolas de pensamento que contribuíram para sua formulação contemporânea, bem como os modelos conceituais e suas estruturas. Busca-se, assim, construir uma base sólida de compreensão sobre o tema e identificar possíveis caminhos para discussões futuras relacionadas à circularidade de embalagens plásticas pós-consumo.

2.1.1 Economia Circular – contextualização

As discussões sobre como alcançar a sustentabilidade planetária têm sido conduzidas pelas mais altas instituições internacionais. Nesse contexto, a Economia Circular (EC) tem ganhado destaque como uma das principais estratégias para promover um ambiente equilibrado para as futuras gerações. Por meio de ciclos regenerativos fechados, a EC propõe a recuperação e valorização de materiais utilizados, seja por meio de processos naturais ou industriais, contrapondo-se à lógica linear de extração, uso e descarte (Sandoval et al., 2018).

A Figura 1 mostra a transição do modelo econômico linear para o circular ao longo do tempo. Desde o século XVIII, o modelo linear predominou, caracterizado pela exploração excessiva de recursos naturais e uma visão antropocêntrica, sem considerar os impactos ambientais. A partir da década de 1970, surge a ecologia industrial, focando na redução de impactos e na reciclagem. Nas décadas de 1980 e 1990, essa abordagem se expandiu para repensar práticas de produção e consumo. Atualmente, a economia circular emerge como uma solução, priorizando o uso sustentável de recursos e a manutenção de materiais em uso, promovendo uma interação mais equilibrada entre a atividade humana e o meio ambiente.

Figura 1 - Transição para o modelo econômico circular



Fonte: Sandoval, *et al.*, 2018.

Segundo Savini et al. (2022), o despertar para a necessidade de uma mudança de paradigma, intensificado com a adoção da Agenda 2030 da ONU, ocorreu inicialmente em países como Alemanha, Japão, China e entre os membros da União Europeia. Por essa razão, são nesses contextos que a Economia Circular (EC) vem sendo discutida há mais tempo, com a implantação de ações concretas voltadas à circularidade.

No âmbito não governamental, a Fundação Ellen MacArthur consolidou-se como referência internacional no debate sobre o tema, ao defender a necessidade de um novo sistema econômico capaz de eliminar o desperdício e a poluição, prolongar o uso de

produtos e materiais, e permitir tempo hábil para a regeneração dos sistemas naturais (Fundação Ellen MacArthur, 2019).

2.1.2 Desenvolvimento conceitual da Economia Circular

O conceito de Economia Circular (EC) tem sido amplamente desenvolvido ao longo da última década, sendo liderado, em grande parte, por formuladores de políticas públicas, representantes do setor empresarial, consultores e associações, como a Ellen MacArthur Foundation. A EC é compreendida como uma alternativa ao modelo econômico linear — baseado na lógica de extração, uso e descarte — diante dos efeitos ambientais e econômicos negativos acumulados, que comprometem a estabilidade das economias e a integridade dos ecossistemas essenciais à sobrevivência humana (GHISELLINI et al., 2016; KORHONEN et al., 2018).

Embora o enfoque contemporâneo sobre a EC seja recente, diversas escolas de pensamento contribuíram para a construção de suas bases conceituais. Entre elas, destaca-se o conceito de sistema econômico circular proposto por Pearce e Turner (1989), inspirado nos estudos do economista ecológico Kenneth Boulding (1966), que introduziu a ideia de uma “economia do homem do espaço”.

Boulding propôs um modelo econômico adaptado às limitações físicas do planeta, distinguindo entre sistemas abertos — que interagem com o meio ambiente — e sistemas fechados — nos quais não há troca de matéria ou energia com o exterior. Ele foi um dos primeiros a alertar que o fator limitante ao crescimento econômico poderia não ser a escassez de recursos, mas sim a falta de capacidade para absorver resíduos e poluição (WEETMAN, 2022; KALMYKOVA et al., 2018).

A contribuição de Pearce e Turner destaca a necessidade de transição de um sistema de fluxo linear (ciclo aberto) para um sistema circular (ciclo fechado), fundamentado na segunda lei da termodinâmica, que reconhece a inevitável degradação da matéria e da energia nos processos produtivos (GHISELLINI et al., 2016).

A gênese da EC também encontra respaldo na Teoria Geral dos Sistemas, formulada por Ludwig von Bertalanffy (1968), cujos princípios centrais incluem:

- (a) o holismo, que afirma que um sistema deve ser compreendido como um todo integrado.
- (b) a interdependência, em que mudanças em uma parte afetam o todo.
- (c) a homeostase, ou seja, a capacidade de autorregulação e busca de equilíbrio.
- (d) a relação entre estrutura e função, na qual mudanças estruturais afetam o desempenho funcional do sistema.
- (e) a distinção entre sistemas abertos e fechados.
- (f) os níveis de organização, que estabelecem hierarquias e complexidades entre sistemas (BRITO et al., 2021; GHISELLINI et al., 2016).

Outros conceitos foram fundamentais para a construção da ideia contemporânea de economia circular:

- *Limites ao crescimento*, de Meadows et al. (1972), vinculado ao Clube de Roma, destaca preocupações com a superexploração dos ecossistemas, a escassez de recursos naturais e o agravamento de problemas ambientais, como poluição do ar, da água e do solo (WEETMAN, 2022).
- *Ecologia industrial*, proposta por Frosch e Gallopoulos (1989), enfatiza a preservação de materiais e energia ao longo dos processos produtivos. Essa abordagem propõe que a indústria funcione como um ecossistema artificial, em que resíduos e subprodutos de uma operação tornem-se insumos para outras, promovendo a transição de ciclos abertos para fechados e reduzindo impactos ambientais.
- *Economia de estado estacionário*, de Daly (1992), defende um modelo com estoques constantes de pessoas e bens, sustentados por baixos fluxos de produção e consumo, minimizando o uso de matéria e energia desde a produção até o descarte.
- *Cradle to Cradle (Do berço ao berço)*, de Stahel e Reday-Mulvey (1981), descreve um sistema de fluxos fechados de nutrientes técnicos e biológicos. Weetman (2022) complementa com a contribuição de McDonough e Braungart, que propõem um design regenerativo, capaz de reciclar ilimitadamente e integrar os produtos à lógica dos ciclos naturais.

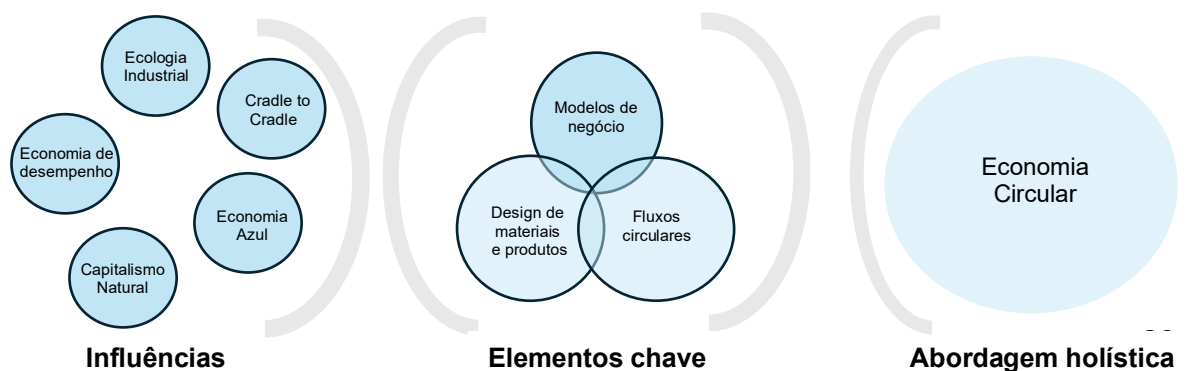
- *Economia de desempenho*, de Walter Stahel, propõe a venda de serviços em vez de produtos, articulando design sistêmico, inovação técnica e soluções comerciais sustentáveis (STAHEL, 2013; WEETMAN, 2022).
- *Economia Azul*, de Gunter Pauli (2010), inspira-se em processos naturais para criar soluções em que não haja resíduos: qualquer subproduto pode ser reaproveitado como insumo para outro sistema, em uma lógica de simbiose ecológica.

Além dessas escolas de pensamento, Weetman (2022) destaca abordagens complementares que contribuem para a transição da economia linear para modelos circulares:

- Biomimética: busca soluções sustentáveis inspiradas em padrões da natureza.
- Permacultura: propõe o uso de modelos produtivos que imitam os ecossistemas naturais, especialmente florestais.
- The Natural Step: desenvolve princípios para acelerar a transição para uma sociedade sustentável dentro dos limites ecológicos do planeta.

A evolução dessas correntes conceituais é refletida no surgimento de novos modelos de negócios, no desenvolvimento de materiais e produtos circulares e na construção de fluxos circulares regenerativos, como mostrado na Figura 2, conforme ilustrado por Weetman (2022).

Figura 2 - Evolução conceitual da Economia Circular



Fonte: Adaptado de Weetman, 2022, p.44.

Assim, a origem do termo Economia Circular resulta da convergência de ideias fragmentadas provenientes de diversas escolas de pensamento e campos científicos. Suas raízes podem ser traçadas até o século XVIII, período em que surgiram as primeiras formulações econômicas que já indicavam preocupações com os limites do crescimento e a gestão dos recursos naturais. Ao longo do tempo, essas concepções foram sendo refinadas por diferentes correntes teóricas, culminando na consolidação do conceito contemporâneo de Economia Circular (SEHNEM; PEREIRA, 2019; SAVINI et al., 2022), conforme será aprofundado no tópico a seguir.

2.1.3 Economia Circular – conceitos e definições

O conceito de Economia Circular, amplamente difundido pela comunidade empresarial, permaneceu por muito tempo sem uma definição formal consensual. Coube à comunidade científica e ao setor produtivo a tarefa de estabelecer suas bases conceituais (SANDOVAL et al., 2018).

Nesse contexto, diversos autores propuseram definições distintas. Kirchherr et al. (2017), por exemplo, analisaram 114 definições existentes e concluíram que a Economia Circular é frequentemente associada às práticas de redução, reutilização e reciclagem.

O Quadro 1 apresenta uma seleção de definições que abordam a Economia Circular sob diferentes perspectivas, incluindo a manutenção de materiais em ciclos fechados, a redução da extração de recursos, o aumento da eficiência produtiva e o uso racional da energia.

Quadro 1 - Definições de economia circular

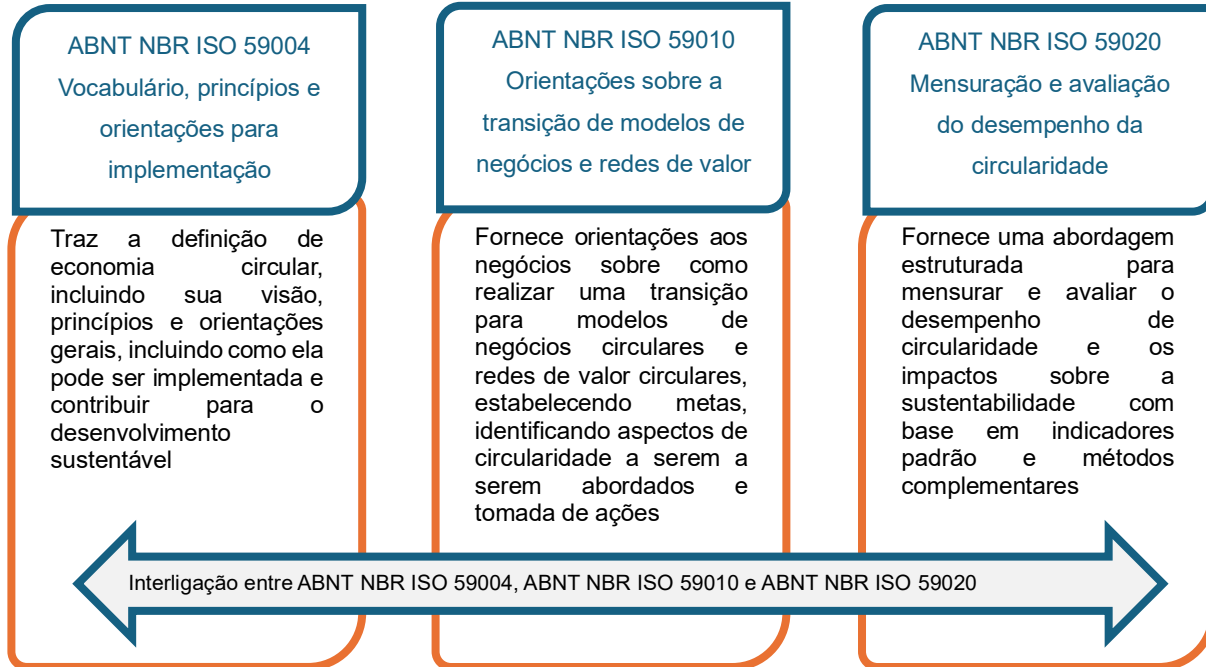
Autor(es)	Definição de Economia Circular
Ellen MacArthur Foundation (2024)	Estrutura de soluções sistêmicas voltada ao enfrentamento de desafios globais, como mudanças climáticas, perda de biodiversidade, geração de resíduos e poluição.
Custódio et al. (2024)	Modelo econômico que se afasta da lógica linear e valoriza produtos e materiais ao longo de seu ciclo de vida, promovendo uma economia mais resiliente.

Ribeiro (2023)	Estratégia de sustentabilidade que visa manter os recursos naturais em uso pelo maior tempo possível, com máxima utilidade.
Sehnem e Pereira (2019)	Modelo que busca produzir sem destruir, restaurando e protegendo a natureza, com base em ciclos bioquímicos e técnicos.
Kirchherr et al. (2017)	Sistema econômico baseado em modelos de negócio que substituem o conceito de “fim de vida útil” pela redução, reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, com atuação nos níveis micro, meso e macro da economia.
Geissdoerfer et al. (2017)	Sistema regenerativo que minimiza o uso de recursos, desperdícios e emissões ao desacelerar, fechar e estreitar ciclos de materiais e energia, por meio de estratégias como design, manutenção, reparo, remanufatura e reciclagem.
Ghisellini et al. (2016)	Sistema produtivo pensado para ser restaurador e regenerativo desde sua concepção.
Weetman (2022)	Modelo inspirado na natureza, onde o resíduo de uma espécie serve como recurso para outra, promovendo ciclos integrados e resilientes.
Stahel (2016)	Modelo que transforma bens no fim de sua vida útil em recursos para outros processos, buscando minimizar desperdícios e ampliar a suficiência por meio da reutilização, conserto, remanufatura e reciclagem.
Gregson et al. (2015)	Abordagem que busca estender a vida útil de produtos e materiais ao reaproveitá-los após o consumo, considerando os fins como inícios de novos ciclos.
Haas et al. (2015)	Estratégia simples e eficaz que visa reduzir tanto a entrada de materiais virgens quanto a geração de resíduos, promovendo o fechamento dos ciclos econômicos e ecológicos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Recentemente, a Organização Internacional de Normalização (ISO) publicou a primeira norma voltada especificamente à Economia Circular, originando a família ISO 59000. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), entidade responsável pela normatização técnica no país, instituiu, em 2024, as três primeiras normas nacionais sobre o tema, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Família ABNT NBR ISO 59020



Fonte: Adaptado de CNI, 2024, p. 11.

No contexto normativo, a ABNT NBR ISO 59004 (ABNT NBR ISO 59004:2024, item 3.1.1), estabelece a definição de Economia Circular como um “Sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter um fluxo circular de recursos, ao recuperar, reter ou agregar valor a esses recursos, ao mesmo tempo que contribui para o desenvolvimento sustentável.”

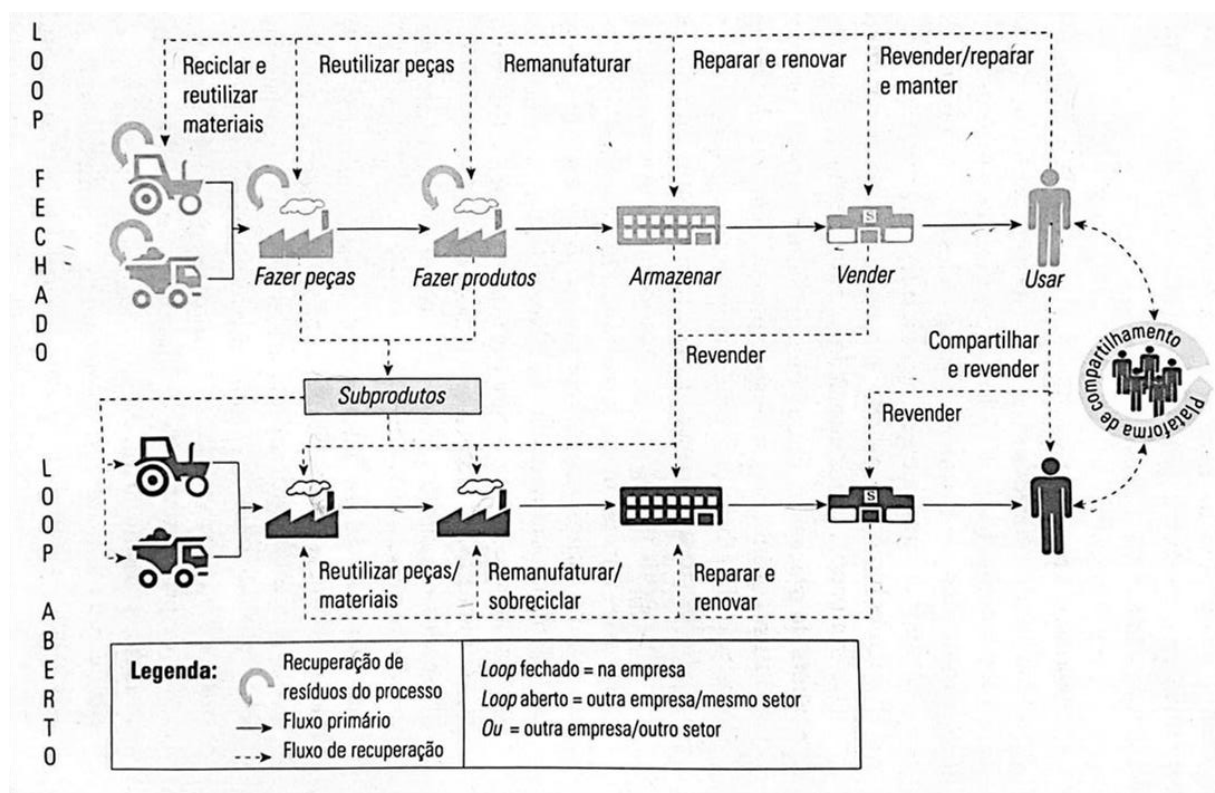
Essa definição reforça a proposta da EC de manter os materiais em circulação por meio de estratégias que promovam sua conservação, valorização e reintegração aos ciclos produtivos, seja por processos naturais ou industriais.

Nesse sentido, a noção de ciclos fechados ocupa papel central na abordagem da Economia Circular. Esses ciclos representam fluxos em que produtos, materiais ou componentes são mantidos em uso dentro do mesmo sistema produtivo, seja pela reutilização direta, pela remanufatura ou pela reciclagem com mínima perda de valor. Essa lógica busca preservar o valor incorporado aos recursos e reduzir ao máximo a necessidade de extração de matéria-prima virgem (WEETMAN, 2022).

Além dos ciclos fechados, a Economia Circular também contempla os chamados ciclos abertos, nos quais produtos, componentes ou materiais fluem entre diferentes sistemas produtivos. Nessas configurações, resíduos ou subprodutos de uma atividade podem tornar-se insumos para outra cadeia ou setor, mesmo que fora de sua origem. Essa lógica amplia as possibilidades de reaproveitamento e fortalece iniciativas de simbiose industrial (WEETMAN, 2022).

A Figura 4, adaptada de Weetman (2022), ilustra de forma comparativa os conceitos de ciclos (loops) abertos e fechados. Os ciclos fechados priorizam a retenção de valor dentro de um mesmo sistema ou ciclo produtivo, enquanto os abertos favorecem a circulação de materiais entre diferentes setores, promovendo uma abordagem intersetorial da circularidade.

Figura 4 - Conceito de ciclos abertos e fechados



Fonte: Adaptado de Catherine Weetman, 2022

2.1.4 Modelo conceitual de Economia Circular desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation

O modelo conceitual desenvolvido pela Ellen MacArthur Foundation (EMF) é amplamente reconhecido, tanto pela comunidade científica quanto pelo setor empresarial, como um dos principais marcos na consolidação da Economia Circular. Esse modelo define a EC como um sistema industrial regenerativo por design, no qual os produtos são planejados desde sua concepção para circular continuamente nos ciclos produtivos, substituindo o conceito de “fim de vida útil” por estratégias de restauração, reutilização e reaproveitamento (EMF, 2021).

A Economia Circular, segundo essa abordagem, fundamenta-se em um modelo econômico que busca o equilíbrio e a autorregulação dos sistemas naturais, garantindo que o consumo de recursos ocorra dentro da capacidade regenerativa dos ecossistemas, por meio do reaproveitamento contínuo de fluxos de materiais e energia (MURRAY et al., 2017).

De acordo com a EMF (2014), cinco características principais definem o modelo de EC:

- a) Característica número 1 – planejamento dos resíduos desde a etapa de design, visando sua eliminação e a otimização dos ciclos de remanufatura e reutilização;
- b) Característica número 2 – resiliência construída a partir da diversidade, com ênfase na versatilidade, adaptabilidade e modularidade dos sistemas produtivos;
- c) Característica número 3 – utilização de fontes renováveis de energia, promovendo maior estabilidade ao sistema e reduzindo a dependência de recursos não renováveis;
- d) Característica número 4 – adoção de uma perspectiva sistêmica e holística, reconhecendo as interdependências entre os diversos agentes envolvidos (*stakeholders*);
- e) Característica número 5 – transparência quanto às externalidades negativas, cuja exposição contribui para a precificação justa dos produtos, incorporando os custos sociais e ambientais.

Essas características estão alinhadas a três princípios reguladores da Economia Circular, conforme estabelecidos pela Ellen MacArthur Foundation (2014), fornecem as diretrizes fundamentais para o funcionamento do modelo e orientam a transição da lógica linear para uma abordagem circular. São eles:

a) Princípio 1: Gestão de fluxos renováveis e materiais finitos

A gestão eficiente dos fluxos de recursos é um dos pilares da Economia Circular. No caso dos recursos renováveis, a taxa de extração deve respeitar a capacidade de regeneração dos ecossistemas naturais. Já no caso dos recursos não renováveis, seu uso deve ser limitado a patamares inferiores à taxa de desenvolvimento de alternativas renováveis, de modo a garantir sua substituição futura. Conforme Suárez-Eiroa et al. (2019), esses recursos exigem investimento em capital humano para que possam ser reincorporados aos sistemas produtivos de forma sustentável, sendo desejável, inclusive, sua substituição total a longo prazo.

Sob a perspectiva dos ciclos fechados e abertos, a Economia Circular busca otimizar os fluxos materiais, priorizando ciclos fechados — nos quais os recursos permanecem dentro do mesmo sistema — como forma de minimizar a necessidade de extração de matérias-primas virgens, reduzir desperdícios e maximizar o uso de energias renováveis. Por outro lado, a permanência de insumos não renováveis, como combustíveis fósseis, compromete a eficiência dos ciclos, exigindo volumes elevados de extração e inviabilizando o fechamento sistêmico dos fluxos (MILLAR et al., 2019).

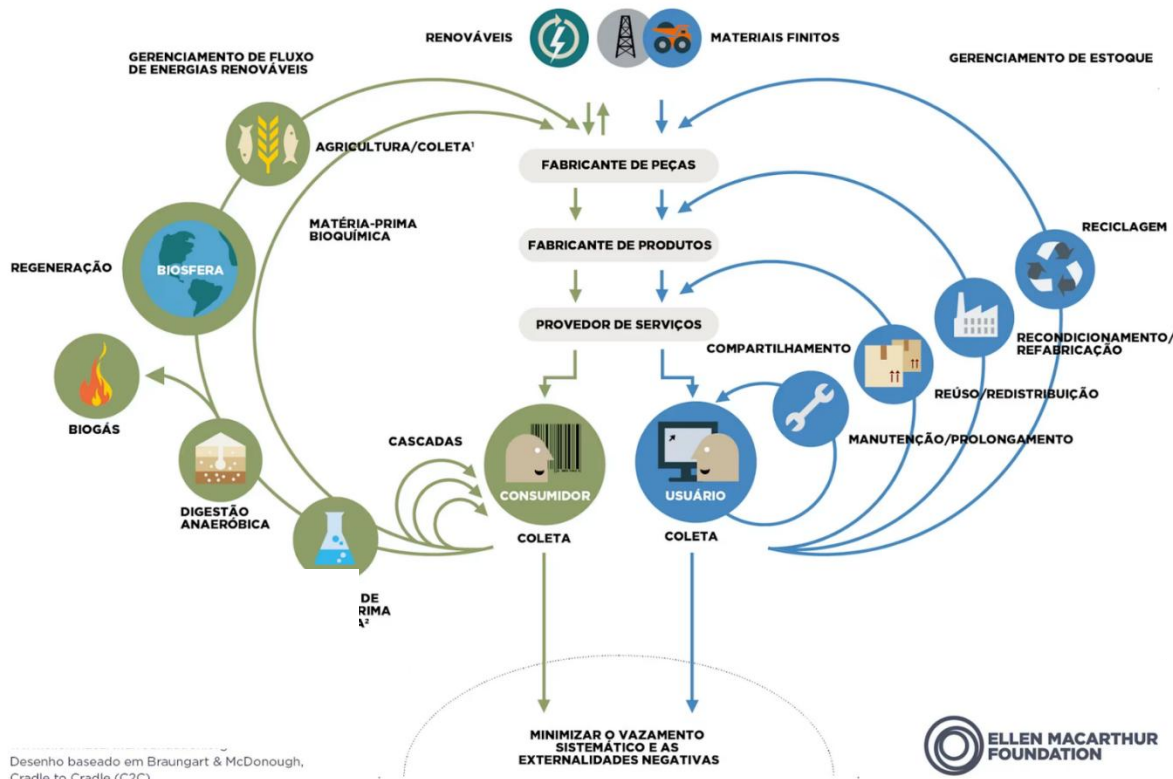
Nesse contexto, a etapa de desenvolvimento do produto, torna-se etapa crítica para viabilizar a circularidade. A escolha de materiais circulares — que possam ser reintegrados ao meio ambiente como nutrientes biológicos ou reciclados com facilidade em fluxos técnicos — contribui diretamente para a regeneração dos ecossistemas (VELENTURF et al., 2019). Como destaca Murray et al. (2017), o projeto do produto deve considerar aspectos como a composição do material, a durabilidade, o processo produtivo, a origem da energia utilizada, a reforma, a remanufatura e a forma de descarte pós-uso, com o objetivo de minimizar a geração de externalidades.

Dessa forma, a Economia Circular além de otimizar fluxos de materiais, também representa uma estratégia para mitigar a geração de resíduos e desacoplar o crescimento econômico do uso intensivo de recursos naturais, o que está diretamente alinhado aos princípios do desenvolvimento sustentável.

b) Princípio 2 – ciclo técnico e ciclo biológico

Conforme representado no Diagrama de Borboleta (Figura 5), elaborado pela Ellen MacArthur Foundation, a Economia Circular opera com base em dois fluxos principais: o ciclo biológico e o ciclo técnico. Esses fluxos descrevem as rotas pelas quais os materiais são mantidos em circulação, seja por meio da reintegração ao meio ambiente (no caso de nutrientes biológicos), seja pela recuperação contínua de valor industrial (no caso de nutrientes técnicos).

Figura 5 - Diagrama de Borboleta da EC



Fonte: EMF, 2021.

O detalhamento dos ciclos demonstrado na Figura 5 será apresentado nas seções subsequentes.

i) Ciclo biológico

O ciclo biológico, representado no Diagrama de Borboleta, descreve os processos naturais por meio dos quais materiais orgânicos são reintegrados ao solo, contribuindo para a regeneração dos ecossistemas. Nesse fluxo, são considerados materiais de origem biológica, como resíduos alimentares, fibras vegetais, cascas, produtos florestais, couro e peles. Por serem geralmente atóxicos e ambientalmente seguros, esses materiais podem retornar ao ambiente sem causar danos, fechando ciclos naturais de nutrientes (EMF, 2021).

Assim, o ciclo biológico é composto por fluxos internos (menores) e fluxos externos, os quais representam os processos que reintegram nutrientes ao solo, por meio de práticas como compostagem e digestão anaeróbica, contribuindo para a regeneração dos ecossistemas naturais. De acordo com o modelo conceitual da Ellen MacArthur Foundation (2021), o ciclo biológico está estruturado nos seguintes processos:

1. Regeneração: Visa a construção do capital natural, em oposição à degradação contínua do meio ambiente. Por meio da agricultura regenerativa, esse processo permite a recuperação da fertilidade dos solos, o aumento da biodiversidade e o retorno dos materiais biológicos à terra, especialmente no contexto dos sistemas alimentares.

2. Agricultura: Refere-se à adoção de práticas agrícolas e pecuárias que promovam impactos positivos à natureza. Isso inclui, entre outros aspectos, a conservação de solos saudáveis e estáveis, a melhoria da biodiversidade local, da qualidade do ar e da água, bem como o aumento da capacidade de sequestro de carbono nos solos.

3. Compostagem e digestão anaeróbica: A compostagem consiste na decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio, permitindo a transformação de subprodutos alimentares e outros resíduos biodegradáveis em composto, utilizado como condicionador de solo, devolvendo nutrientes essenciais à terra. Já a digestão

anaeróbica ocorre na ausência de oxigênio e viabiliza a recuperação de nutrientes, gerando dois produtos principais: o biogás — uma fonte energética similar ao gás natural — e um material orgânico estabilizado, que pode ser aplicado diretamente ao solo ou ser ainda submetido à compostagem para uso agrícola.

4. Cascatas: Esse processo aproveita materiais orgânicos já existentes na economia para novos usos em diferentes aplicações, prolongando seu tempo de vida útil. Um exemplo é a produção de novos alimentos a partir de ingredientes classificados anteriormente como resíduos. Quando esses produtos não puderem mais ser reaproveitados, são direcionados para os fluxos externos do ciclo biológico e, finalmente, devolvidos ao solo.

5. Extração de matéria-prima bioquímica: Envolve o aproveitamento de materiais biológicos pós-colheita ou pós-consumo como insumo para biorrefinarias, que produzem compostos bioquímicos. Esses produtos incluem desde nutracêuticos e ingredientes de alto valor agregado até bioquímicos a granel, representando um elo entre o ciclo biológico e aplicações industriais de maior complexidade.

Encerrado o detalhamento do ciclo biológico, procede-se à análise do ciclo técnico, que abrange os fluxos de materiais de origem mineral e sintética, estruturados de modo a preservar seu valor ao longo dos ciclos de vida.

ii) Ciclo técnico

O Diagrama de Borboleta prevê quatro ciclos de nutrientes técnicos, definidos como os processos pelos quais produtos e materiais — como aqueles minerados ou extraídos da crosta terrestre, tais como combustíveis fósseis, carvão, petróleo, gás natural, plásticos derivados do petróleo, petroquímicos¹, metais e minerais, produtos químicos e outros compostos químicos correlatos — fluem de maneira a manter o maior valor possível ao longo de seus ciclos de vida (WEETMAN, 2022; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).

¹ Embora esses materiais sejam constituídos de nutrientes biológicos, elas não são renováveis no sentido prático, se enquadrando como nutriente técnico (Weetman, 2022, p.72)

Assim, os nutrientes técnicos são representados por uma sequência de fluxos concêntricos, sendo os mais internos associados a maior retenção de valor. Esses fluxos internos correspondem às estratégias que preservam o produto em sua forma original, como compartilhamento, manutenção e reutilização, que prolongam seu ciclo de vida. Já os fluxos externos, como a reciclagem, envolvem a desagregação dos materiais e consequente perda de parte do valor incorporado.

Nesse sentido, em uma abordagem baseada na Economia Circular, os ciclos mais internos devem ser priorizados em relação aos externos, sendo a reciclagem considerada uma alternativa de último recurso, quando a preservação da integridade do produto não for mais possível (EMF, 2021).

A Figura 6 detalha cada uma das etapas que compõem o fluxo técnico desse modelo.

Figura 6 - Detalhamento do ciclo técnico da EC



Fonte: Adaptado de EMF, 2021.

Dessa forma, o ciclo técnico, em conjunto com o ciclo biológico, consolida a base operacional do modelo de Economia Circular, ao buscar maximizar o valor dos recursos ao longo do tempo. Após a caracterização desses dois ciclos, faz-se necessário avançar para a compreensão do terceiro princípio da Economia Circular, o gerenciamento de externalidades.

c) Princípio 3 – Gerenciamento de externalidades

O terceiro princípio da Economia Circular refere-se ao gerenciamento de externalidades geradas pelo sistema. Kanda et al. (2019) definem externalidade como um efeito significativo decorrente de uma atividade, cujas consequências impactam agentes que não participam diretamente da produção ou consumo dessa atividade. Tais externalidades podem ser negativas, quando causam prejuízos, ou positivas, quando resultam em benefícios aos agentes externos.

O principal objetivo do gerenciamento de externalidades é antecipar, mitigar ou eliminar impactos negativos, ao mesmo tempo em que se incentivam externalidades positivas. Segundo a EMF (2017), uma das formas de promover essa transparência é por meio da precificação adequada de produtos e serviços. Quando os impactos socioambientais são refletidos de forma clara no preço final, há maior valorização de práticas sustentáveis, favorecendo a adoção de modelos circulares.

Nesse contexto, observa-se que o gerenciamento de externalidades não apenas contribui para a internalização dos custos socioambientais, mas também reforça a necessidade de reconfiguração sistêmica das práticas produtivas e de consumo. Essa perspectiva conduz à reflexão sobre os diferentes níveis de implantação da Economia Circular, que permitem operacionalizar seus princípios em distintas escalas de atuação.

2.1.5 Níveis de implantação da Economia Circular

A EC representa uma ruptura paradigmática na forma como a sociedade humana tem se relacionado com a natureza, propondo a prevenção do esgotamento dos recursos naturais, da energia e dos materiais. Nesse sentido, configura-se como um instrumento estratégico para viabilizar o desenvolvimento sustentável. Para que seus objetivos sejam alcançados, é necessário implementar inovações ambientais cíclicas e regenerativas nos modos de produção, consumo e regulamentação da sociedade. Essas transformações exigem a criação de novos modelos operacionais distribuídos em diferentes escalas: nível micro, nível meso e nível macro (MELO; DA SILVA, 2022; CAJUELA; PÁDUA, 2024).

a) Implantação no nível Micro

A implantação da Economia Circular no nível micro refere-se ao compromisso com a maximização da utilidade e do valor dos produtos ao longo de sua vida útil. Isso requer a adoção de estratégias de produção mais limpas e sustentáveis, promovendo transformações nos modelos de negócios, inovações em processos e produtos, inovações em design, bem como nos comportamentos dos produtores e consumidores (MELO; DA SILVA, 2022).

Modelos de negócios ameaçados pela escassez de recursos naturais enfrentam incertezas quanto ao fornecimento e aos custos de matérias-primas, o que impulsiona a busca por novas formas operacionais. Nesse contexto, o desenvolvimento de modelos de negócios circulares emerge como alternativa para conciliar interesses econômicos com preocupações ambientais no nível empresarial, modificando padrões tradicionais de consumo e produção (HOFMANN, 2019).

Para Bocken et al. (2016), além das transformações nos processos produtivos, é essencial aplicar estratégias voltadas à extensão do ciclo de vida dos produtos, principalmente por meio do projeto do produto ou serviço para a circularidade. Tais estratégias contribuem para reduzir a demanda por recursos naturais ao reconsiderar aspectos como durabilidade física, reparabilidade, possibilidade de manutenção, remontagem e até o design emocional, promovendo maior vínculo entre consumidor e produto.

Kalmykova et al. (2018) complementam essa visão ao enfatizar o papel da sociedade como mola propulsora para mudança nos padrões de consumo no contexto da Economia Circular, enfatizando o uso de plataformas de compartilhamento, a preferência por produtos com certificações ambientais, o consumo baseado no uso em vez da propriedade e a adoção de hábitos sustentáveis, são elementos-chave para o êxito do modelo circular.

Outro importante instrumento de implantação no nível micro é o uso de modelos de concessão ecológica e rotulagem ambiental. Esses mecanismos estão presentes no Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia como estratégias essenciais para promover a circularidade nos países do bloco (COMISSÃO EUROPEIA, 2020). De

acordo com o plano, a concessão ecológica envolve requisitos específicos na fase de design e produção, incluindo critérios como eficiência energética e material, reciclabilidade, minimização de impactos ambientais, assistência técnica e análise do ciclo de vida dos produtos.

A busca por fortalecer a circularidade se materializa em uma série de iniciativas estratégicas propostas pela Comissão Europeia (2020), entre as quais destacam-se:

- Aumentar a vida útil, a capacidade de reutilização, atualização e reparabilidade dos produtos;
- Reduzir a presença de substâncias químicas perigosas e melhorar a eficiência no uso de energia e materiais;
- Elevar a concentração de materiais reciclados nos produtos, mantendo desempenho e segurança;
- Estimular a remanufatura e a reciclagem de alta qualidade;
- Reduzir a pegada de carbono e a pegada ecológica;
- Restringir o consumo de produtos descartáveis e combater a obsolescência programada;
- Proibir a destruição de bens duráveis não comercializados;
- Incentivar modelos de negócios baseados em produtos como serviço, nos quais os produtores mantenham a propriedade ou responsabilidade pelo desempenho ao longo do ciclo de vida;
- Ampliar a digitalização de informações sobre produtos;
- Estabelecer incentivos para produtos com melhor desempenho em sustentabilidade.

Em síntese, a implantação da Economia Circular no nível micro enfatiza transformações nos produtos, processos, modelos de negócios e padrões de consumo, reforçando a importância da atuação individual de empresas e consumidores para ampliar a circularidade. Contudo, para que esses avanços alcancem maior escala e promovam impactos sistêmicos, torna-se necessário transpor a lógica da circularidade para arranjos coletivos e intraorganizacionais, o que conduz à análise da Economia Circular em nível meso.

b) Implantação no nível meso

A segunda escala de implantação da Economia Circular é o nível meso, que abrange a integração em rede entre unidades produtivas, como parques industriais e sistemas de simbiose industrial. No modelo econômico linear, os sistemas industriais tendem à ineficiência na gestão de recursos, o que impulsiona a adoção de parques ecoindustriais como estratégia para promover a circularidade (GOMEZ et al., 2018).

Nessa abordagem, resíduos ou subprodutos descartados por uma empresa são utilizados como insumos por outra, redesenhando os fluxos de materiais e energia em ciclos fechados. Essa dinâmica contribui para a redução de desperdícios e a manutenção do valor dos recursos por mais tempo, conforme os princípios da Economia Circular (EMF, 2014).

Os sistemas de simbiose industrial, portanto, envolvem a articulação entre diferentes unidades produtivas, permitindo a circulação de materiais, energia, subprodutos e água de forma eficiente e circular (GHISELLINI et al., 2016). Para sua viabilização, utilizam-se ferramentas de tecnologia da informação, plataformas de compartilhamento de conhecimento e modelos de análise de redes complexas, adaptados à arquitetura industrial existente (GOMEZ et al., 2018).

A China é uma referência nesse campo, tendo liderado a implantação de parques ecoindustriais devido à sua longa tradição em aglomerações industriais, como as Áreas Nacionais de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico. O interesse pela Economia Circular no país surgiu como estratégia para reduzir impactos ambientais, aumentar a eficiência de recursos e melhorar a competitividade industrial. Um exemplo notável é o Parque TEDA, que se tornou, a partir de 2005, um projeto de EC estruturado com infraestrutura sustentável financiada por receitas fiscais locais (MELO; DA SILVA, 2022).

Essa experiência gerou inovações replicáveis em outros parques industriais e fortaleceu os vínculos entre empresas, estendendo os benefícios ambientais para além dos limites territoriais das unidades produtivas. O modelo reforça uma nova concepção de territorialidade industrial, baseada em impactos sustentáveis tanto internos quanto externos ao parque (MELO; DA SILVA, 2022).

Assim, a implantação da Economia Circular em nível meso demonstra o potencial da cooperação interorganizacional e territorial, viabilizando fluxos circulares de materiais, energia e subprodutos por meio de sistemas de simbiose industrial e parques ecoindustriais. Contudo, para que essas iniciativas alcancem maior amplitude e consolidem mudanças estruturais na economia e na sociedade, é necessário avançar para a esfera macro, em que políticas públicas, estratégias nacionais e acordos internacionais assumem protagonismo na promoção da circularidade.

c) Implantação no nível Macro

A implantação da Economia Circular no nível macro envolve a integração de sistemas industriais, urbanos e culturais em escalas regional, nacional e global. Essa integração ocorre de forma vertical, entre diferentes níveis territoriais (como parques industriais e regiões), e horizontal, envolvendo infraestrutura, cultura e padrões de consumo (GOMEZ et al., 2018).

O conceito ganhou força nos anos 1970 com o movimento Urban Ecology, nos Estados Unidos, que propunha respeitar os limites ecossistêmicos das cidades e promover a circularidade de recursos e energia nos ambientes urbanos (GHISELLINI et al., 2016).

Para que a aplicação da Economia Circular no nível macro seja eficaz, é necessário que ela esteja alicerçada nos níveis micro (empresas e consumidores) e meso (simbiose industrial). As políticas públicas têm papel fundamental na articulação desses níveis, especialmente por meio do planejamento urbano sustentável e da consolidação de modelos de ecocidades, que buscam maximizar o uso eficiente de recursos e reduzir deslocamentos (MELO; DA SILVA, 2022).

Diversos países têm adotado estratégias distintas para a implementação da EC em suas políticas públicas. No Japão, por exemplo, foram instituídas 26 ecocidades ao final da década de 1990, baseadas em um plano que integrou dimensões sociais, econômicas, tecnológicas e legais, com o objetivo de promover a responsabilidade ambiental compartilhada (MELO; DA SILVA, 2022).

Na China, o 11º Plano Quinquenal incorporou os princípios da EC, resultando na criação de instrumentos legais como a Lei de Promoção da Produção Mais Limpa e a Lei de Promoção da Economia Circular, com foco em reutilização, reciclagem e redução do consumo de recursos (GOMEZ et al., 2018).

Na União Europeia, o Pacto Ecológico Europeu (*Green Deal*) estabelece metas ambiciosas para tornar a economia do bloco mais sustentável. Suas diretrizes abrangem desde a cadeia de produção de alimentos até a eficiência energética, com foco na redução do desperdício, na priorização da reutilização de insumos e na promoção de atividades econômicas circulares e geradoras de empregos (GOMEZ et al., 2018).

No Brasil, embora o modelo econômico linear ainda predomine, diversas iniciativas vêm incorporando princípios da Economia Circular no nível macro, como a publicação da série de normas ABNT NBR ISO 59000, que define os princípios, a terminologia e as diretrizes para a aplicação prática da Economia Circular. Essas normas alinham o Brasil aos referenciais técnicos internacionais, oferecendo uma base normativa consistente para o desenvolvimento de políticas públicas e ações empresariais sustentáveis.

Além disso, destaca-se a elaboração da Estratégia Nacional de Economia Circular (ENEC), política pública federal coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), com o apoio da Confederação Nacional da Indústria (CNI), do INMETRO e de representantes da sociedade civil. A ENEC estabelece diretrizes estratégicas para a transição do Brasil rumo a um modelo econômico circular, priorizando ações nos setores industriais, o estímulo à inovação, a criação de indicadores de circularidade, o desenvolvimento de infraestrutura para a cadeia de reciclagem e o fortalecimento das compras públicas sustentáveis.

Essa estratégia é considerada um marco na integração das agendas industrial e ambiental, ao propor caminhos concretos para a redução da geração de resíduos, o uso mais eficiente de recursos e o fortalecimento de uma competitividade econômica baseada em práticas sustentáveis (SANDOVAL, 2018; CNI, 2024).

De maneira geral, a implantação da Economia Circular se estrutura em três níveis complementares: no micro, com transformações em produtos, processos e padrões de consumo; no meso, com redes interorganizacionais que promovem a simbiose industrial; e no macro, com políticas públicas e estratégias globais de transição. Juntos, esses níveis

constituem a base para um modelo econômico regenerativo. Diante desse panorama, o propõe-se discutir um dos maiores desafios para a efetivação da circularidade, a gestão de embalagens plásticas pós-consumo.

2.2 Embalagens plásticas pós-consumo

Ao longo da segunda metade do século XX, os materiais sintéticos comumente denominados plásticos apresentaram avanços significativos em suas propriedades físico-químicas e ampliaram consideravelmente sua gama de aplicações no cotidiano. Tornaram-se, assim, símbolos do progresso tecnológico e da modernidade. Como consequência, a produção global de plásticos e sua inserção em diversas cadeias produtivas cresceram de forma acelerada (PLASTICS EUROPE, 2023; GEYER ET AL., 2017).

Embora os plásticos representem uma forma relativamente eficiente de utilização do petróleo, sua cadeia de valor gera impactos ambientais relevantes, especialmente nas pontas do processo: desde a extração de matéria-prima não renovável até o descartar de resíduos com baixa ou nula degradabilidade ambiental (HOPEWELL et al., 2009; UNEP, 2021).

Nesse cenário, a gestão de embalagens plásticas pós-consumo no Brasil desponta como um dos principais desafios à sustentabilidade, à efetivação da economia circular e à mitigação de impactos ambientais. O país ainda enfrenta barreiras estruturais relacionadas à coleta seletiva, à logística reversa e à infraestrutura de reciclagem, sendo as embalagens plásticas particularmente críticas devido à diversidade de composições, à contaminação e à baixa reciclabilidade (ABRELPE, 2023; CEMPRE, 2022; SANDOVAL, 2018).

Este capítulo tem por objetivo apresentar um panorama geral sobre a composição e circularidade das embalagens plásticas pós-consumo no Brasil, com foco na identificação dos principais entraves e oportunidades para sua reintegração aos ciclos produtivos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021; EMF & SYSTEMIQ, 2016).

2.2.1 Embalagens plásticas pós-consumo no Brasil: polímeros predominantes, aplicações e relevância para a circularidade

A reciclabilidade de um material está diretamente condicionada às suas características físico-químicas e ao contexto em que se insere a cadeia de gestão de resíduos, especialmente no que tange à coleta, triagem e reaproveitamento (Zanin; Mancini, 2015). No caso dos plásticos, essa relação torna-se ainda mais complexa, devido à ampla diversidade de polímeros utilizados pela indústria e à fragmentação estrutural do sistema brasileiro de coleta e separação de resíduos.

O termo “plástico” engloba uma ampla família de materiais poliméricos, derivados de processos de polimerização de monômeros. A estrutura molecular e a adição de diferentes tipos de aditivos conferem aos polímeros propriedades específicas, como rigidez, elasticidade, transparência, resistência térmica e resistência química (Michaeli et al., 1995). De modo geral, esses materiais são classificados em duas categorias principais: os termoplásticos, que podem ser fundidos e remodelados repetidamente, e os termofixos, que adquirem forma definitiva após a moldagem. No contexto das embalagens, predominam os termoplásticos, justamente por sua capacidade de transformação reversível.

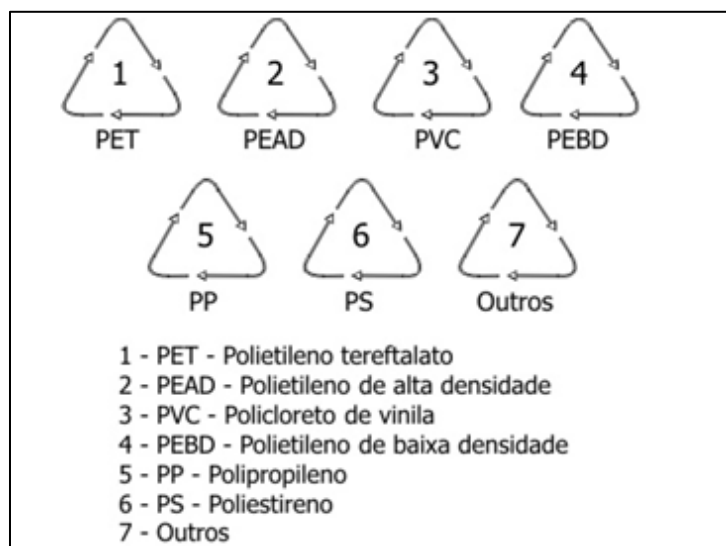
A correta identificação dos polímeros predominantes nas embalagens é essencial para avaliar seu potencial de circularidade. Cada tipo de resina apresenta propriedades que influenciam diretamente sua reciclabilidade, sua compatibilidade com outros materiais e seu valor de mercado após o reaproveitamento.

Entretanto, a diversidade de composições químicas e de estruturas moleculares entre os diferentes plásticos gera incompatibilidades no processamento, o que torna necessária uma separação rigorosa por tipo de material. Atualmente, são reconhecidos ao menos seis tipos principais de plásticos utilizados em embalagens, o que motivou a adoção de um sistema de identificação numérica padronizada.

Esse sistema é composto por números de 1 a 6, geralmente indicados no fundo dos produtos ou nos rótulos, e segue a norma brasileira ABNT NBR 13230, de adesão voluntária. O número 7 é reservado a misturas de resinas plásticas ou materiais não listados nas categorias anteriores (Zanin; Mancini, 2015). A nomenclatura das principais resinas plásticas utilizadas na fabricação de embalagens está apresentada na Figura 7,

a qual reúne os códigos padronizados internacionalmente para identificação dos diferentes tipos de polímeros.

Figura 7 - Símbolos, números e siglas inscritas nas embalagens plásticas



Fonte: Adaptado de ZANIN e MANCINI, 2015.

Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST, 2023), o setor de embalagens responde por aproximadamente 38% do consumo total de resinas termoplásticas transformadas no Brasil, configurando-se como um dos segmentos mais representativos da indústria da transformação.

Em 2022, a produção nacional de produtos transformados plásticos foi estimada em cerca de 6,6 milhões de toneladas, sendo uma parcela expressiva destinada à fabricação de embalagens. Esse volume evidencia a relevância das embalagens plásticas no contexto produtivo brasileiro e destaca a necessidade de estratégias voltadas à sua recuperação e reinserção em ciclos produtivos circulares (ABIPLAST, 2023).

O Quadro 2 a seguir apresenta os principais polímeros empregados na fabricação de embalagens plásticas no Brasil, com destaque para suas aplicações mais recorrentes e propriedades técnicas que influenciam diretamente seu potencial de reciclabilidade e circularidade.

Quadro 2- Principais polímeros utilizados em embalagens plásticas no Brasil

Polímero	Aplicações principais	Características técnicas
PEBD/PELBD	Sacolas, filmes para alimentos, embalagens flexíveis	Flexibilidade, boa resistência mecânica, baixa densidade
PEAD	Frascos para limpeza, cosméticos, agroquímicos	Alta rigidez, resistência química, opacidade
PP	Tampas, potes, bisnagas, filmes biorientados	Resistência térmica, leveza, transparência parcial
PET	Garrafas de bebidas, embalagens alimentícias e farmacêuticas	Transparência, resistência ao impacto, barreira a gases
PS/EPS	Bandejas, copos descartáveis, embalagens de ovos	Baixo custo, leveza, baixa reciclabilidade, fragilidade

Fonte: Adaptado de ABIPLAST (2023); CNI (2022).

As embalagens plásticas apresentam uma série de vantagens técnicas em relação a outros materiais de embalagem, como leveza, durabilidade, impermeabilidade e facilidade de conformação em diferentes formatos. Esses atributos, associados ao custo competitivo das resinas e à versatilidade dos processos de transformação industrial — como injeção, extrusão, sopro e termoformagem — explicam sua ampla aplicação em diversos setores da economia (MORAIS; LOPES, 2021).

Entretanto, o crescimento acelerado da produção de embalagens plásticas tem gerado implicações ambientais significativas, especialmente no que se refere ao aumento da geração de resíduos pós-consumo e à baixa taxa de reciclagem efetiva. Diante do expressivo volume que esses materiais representam no fluxo de resíduos sólidos urbanos, torna-se fundamental o direcionamento de políticas públicas específicas, voltadas à logística reversa e ao fortalecimento de modelos circulares de reaproveitamento (ABRELPE, 2023; CEMPRE, 2022; SANDOVAL, 2018; UNEP, 2021).

Compreender o perfil dos polímeros empregados na produção de embalagens é, portanto, um passo estratégico para o desenvolvimento de cadeias produtivas circulares.

A viabilidade técnica da reciclagem, a compatibilidade entre diferentes tipos de resinas e a existência de mercados consumidores para os materiais reciclados são variáveis cruciais que devem ser consideradas na formulação de estratégias integradas

e sustentáveis para a gestão de resíduos plásticos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2016; GEYER et al., 2017; VELENTURF et al., 2019).

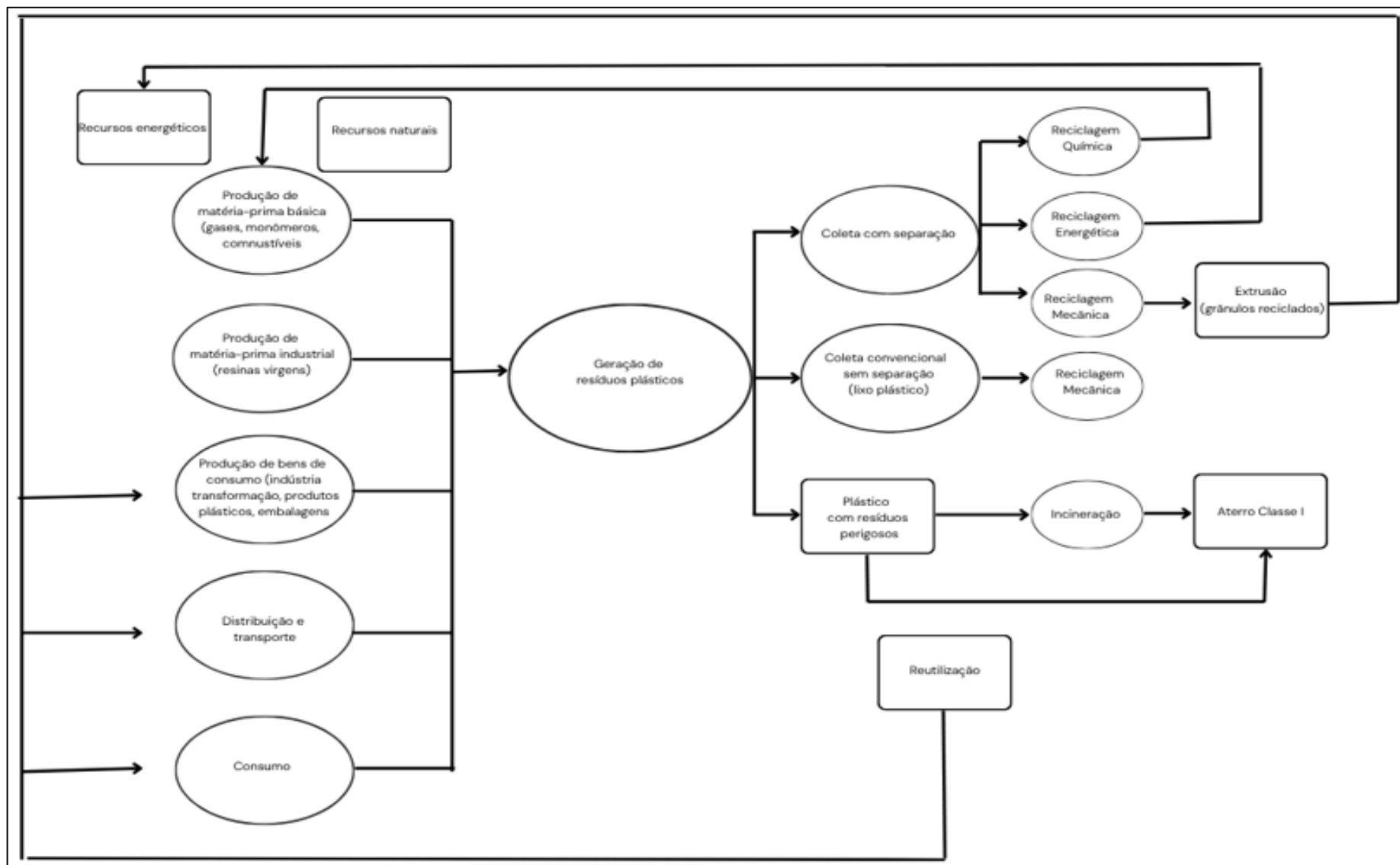
2.2.2 A cadeia de reciclagem do plástico

A cadeia de reciclagem dos plásticos desempenha um papel estratégico na mitigação dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, especialmente diante do crescente consumo de embalagens plásticas no contexto urbano-industrial.

Trata-se de um sistema de interações complexas e interdependentes, que envolve desde a geração e descarte pelo consumidor final, passando pelas etapas de coleta, triagem e beneficiamento, até a reutilização ou reinserção da matéria-prima reciclada nos ciclos produtivos. Além disso, dependendo da qualidade e da viabilidade técnica do material, o fluxo pode incluir o reaproveitamento energético, a incineração controlada ou a disposição final em aterros sanitários, (SILVA; LEONARDI, 2020).

A Figura 10 ilustra esse sistema de interações mencionado por Silva e Leonardi (2020) através de um modelo simplificado da cadeia de reciclagem de plásticos pós-consumo, destacando os principais elos que possibilitam a valorização desses materiais. Essa valorização está condicionada a uma atuação coordenada entre diferentes agentes: o cidadão, por meio do descarte consciente; o poder público, responsável pela organização da coleta e provisão de infraestrutura adequada; e o setor de reciclagem, encarregado do processamento e reintegração do material ao ciclo produtivo (ZANIN; MANCINI, 2015).

Figura 8 - Representação do ciclo da cadeia do plástico



Fonte: Zanin e Mancini, 2015

Assim, a cadeia de reciclagem de plásticos configura-se como um processo articulado, cuja efetividade depende da interação entre consumidores, poder público e setor produtivo, de modo a assegurar a reinserção dos materiais no ciclo produtivo. Essa reintegração pode ocorrer por meio de diferentes abordagens tecnológicas, entre as quais se destacam a reciclagem mecânica e a reciclagem química, que serão aprofundadas no tópico a seguir.

2.2.3 Tipos de reciclagem de plástico

A classificação dos tipos de reciclagem de plásticos foi formalmente estabelecida pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), com o objetivo de uniformizar os conceitos e práticas adotados globalmente no setor (ASTM, 1991). Essa classificação compreende quatro categorias principais:

- i) Reciclagem primária – Refere-se à reutilização de resíduos plásticos industriais limpos e homogêneos. O processo inclui seleção, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento por extrusão ou injeção. O material resultante possui propriedades comparáveis à resina virgem.
- ii) Reciclagem secundária – Aplica-se a resíduos provenientes da coleta urbana, sendo submetidos a triagem, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento. Em alguns casos, pode incluir aglutinação (especialmente para filmes plásticos). O produto final apresenta propriedades inferiores às da resina virgem.
- iii) Reciclagem terciária – Baseia-se em processos de despolimerização química, que decompõem os polímeros em monômeros ou oligômeros. Esses produtos podem posteriormente ser reintroduzidos na cadeia petroquímica por novos ciclos de polimerização.
- iv) Reciclagem quaternária – Refere-se ao aproveitamento energético do material plástico por meio de processos de combustão controlada. A energia térmica gerada é convertida em eletricidade ou calor, resultando principalmente em emissões gasosas como o dióxido de carbono.

Conforme destacado por Zanin e Mancini (2015), essa tipologia técnica pode ser complementada por uma divisão baseada nos processos físicos e químicos utilizados, conforme detalhado a seguir:

1) Reciclagem Mecânica

Trata-se da transformação física de resíduos plásticos em novos produtos, sem alteração da estrutura química dos polímeros. As etapas incluem coleta, triagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação, resultando em uma resina secundária reutilizável pela indústria de transformação (SILVA; LEONARDI, 2020). Esse método é mais adequado para plásticos termoplásticos homogêneos e pouco contaminados, como PE, PP, PS e PET. Entretanto, a presença de contaminantes compromete a qualidade do reciclado, exigindo eficiência na triagem (ABIPLAST, 2021).

2) Reciclagem Química

Envolve a quebra controlada das cadeias poliméricas, resultando em monômeros ou compostos químicos básicos, que podem ser reintroduzidos na cadeia petroquímica. Os principais processos incluem:

- Pirólise – Degradação térmica na ausência de oxigênio, gerando óleo pirolítico, gás combustível e carvão, com possibilidade de reaproveitamento industrial;
- Solvólise – Aplicação de solventes e calor para fragmentar ligações químicas, especialmente em polímeros como PET (ZANIN; MANCINI, 2015).

Dessa forma, compreender as especificidades técnicas da reciclagem mecânica e química, torna-se evidente que tais processos não podem ser analisados de maneira isolada, uma vez que sua efetividade depende diretamente da disponibilidade e qualidade dos resíduos retornados ao ciclo produtivo. Nesse ponto, a logística reversa de embalagens plásticas pós-consumo emerge como um instrumento fundamental para viabilizar o fluxo reverso dos materiais, assegurando não apenas a coleta e devolução ao setor produtivo, mas também o cumprimento das diretrizes legais e ambientais previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, como será demonstrado no tópico a seguir.

2.3 Logística Reversa de Embalagens Pós Consumo

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, constitui um marco regulatório essencial para a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos no Brasil. Essa legislação estabelece diretrizes que abrangem todas as etapas do ciclo de vida dos resíduos — da geração à disposição final — com ênfase na redução, reutilização e reciclagem (SILVA et al., 2018).

Um dos instrumentos mais relevantes da PNRS é a Logística Reversa (LR), definida como “um conjunto de ações que viabilizam o retorno dos resíduos ao setor produtivo, permitindo sua reinserção em ciclos produtivos ou destinação final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010). A LR opera com base nos princípios do poluidor-pagador e da responsabilidade compartilhada, distribuindo responsabilidades entre fabricantes, importadores, comerciantes, consumidores e o poder público (MILARÉ, 2018).

No Art. 33 da PNRS, são definidos os segmentos com obrigatoriedade legal de implementar sistemas de LR, abrangendo desde agrotóxicos até eletroeletrônicos e, de forma geral, as embalagens pós-consumo. Embalagens da fração seca dos resíduos sólidos urbanos — como plástico, papelão, vidro e alumínio — devem ser separadas pelo consumidor e destinadas a pontos de entrega, cooperativas ou sistemas formalmente estruturados de coleta.

O Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a PNRS, detalha os instrumentos legais para formalização da logística reversa: (i) acordos setoriais, firmados entre setor público e privado; (ii) regulamentos governamentais, emitidos por decretos e; (iii) termos de compromisso, utilizados em casos sem regulação específica ou para adoção de metas mais exigentes.

Complementando esse arcabouço, o Decreto nº 11.413/2023 define os modelos de execução da LR, que podem ocorrer por três caminhos: projetos estruturantes, com investimentos em infraestrutura de triagem e inclusão de catadores; projetos não estruturantes, com a compra de créditos de reciclagem com rastreabilidade fiscal; modelo de massa futura, em que os recicláveis reintroduzidos futuramente são antecipadamente contabilizados para fins de cumprimento de metas.

No âmbito federal, o principal instrumento vigente é o acordo setorial de embalagens em geral, firmado em 2015, que formaliza obrigações para fabricantes, importadores e comerciantes. Este acordo também prevê parcerias com cooperativas e o comércio varejista. De acordo com o SINIR (2024), os projetos estruturantes desse sistema foram responsáveis pela coleta de 121.285 toneladas de embalagens plásticas, em atendimento às metas de logística reversa do ano 2024.

No plano estadual, o destaque vai para o Estado de São Paulo, que implementou a Resolução SMA nº 45/2015, estabelecendo a obrigatoriedade da logística reversa para uma série de produtos e embalagens, incluindo alimentos, bebidas, produtos de higiene e limpeza. A norma se aplica a todos os empreendimentos que colocam embalagens no mercado paulista.

Para operacionalizar essa política, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria nº 051/2024/P, que detalha o procedimento de comprovação no licenciamento ambiental e fixa metas quantitativas e geográficas por tipo de material. As embalagens devem ser comprovadamente recicladas na mesma proporção em que foram colocadas no mercado, respeitando categorias como: vidro, papel/papelão, aço, alumínio, plásticos e aerossóis.

Em complemento à regulamentação da logística reversa no Estado de São Paulo, a Decisão de Diretoria (DD) nº 051/2024/P, publicada pela CETESB, apresenta no Anexo A as metas quantitativas e geográficas específicas para o cumprimento da obrigatoriedade relacionada às embalagens em geral (CETESB, 2024).

Essas metas visam assegurar que os responsáveis pela introdução de produtos embalados no mercado paulista promovam, proporcionalmente, a restituição e a destinação ambientalmente adequadas dos resíduos gerados após o consumo. O Quadro 3 apresenta os percentuais de cumprimento exigidos para cada tipo de material, com base na natureza das embalagens comercializadas — como vidro, papel/papelão, aço, alumínio, plástico e aerossóis — e define a abrangência geográfica mínima das ações de logística reversa em termos regionais.

Quadro 3 - Metas do SLR de Embalagens em Geral de SP

Setor	Metas quantitativas	Metas geográficas
Embalagens em geral (produtos alimentícios, bebidas, produtos limpeza e afins, produtos higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, desinfestantes domissanitários de venda livre).	Embalagens de papel, plástico e aço e vidro: Ano 2022 – 22,5% Ano 2023 – 23% Ano 2024 – 30% Ano 2025 – 32%	Mínimo de 8 regiões administrativas ²

Fonte: Adaptado de Decisão de Diretoria CETESB Nº 051/2024/P, (São Paulo, 2024, pg.16).

Além dos sistemas de logística reversa formalizados por meio de exigências legais, como os previstos no Art. 33 da Lei nº 12.305/2010, há também iniciativas de logística reversa voluntária, caracterizadas por ações implementadas de forma autônoma por empresas, associações setoriais ou consórcios empresariais, sem imposição normativa direta. Esses sistemas têm como foco a promoção da destinação ambientalmente adequada de produtos e embalagens pós-consumo, alinhando-se aos princípios da responsabilidade socioambiental corporativa, marketing verde e antecipação regulatória (BRASIL, 2010).

Os sistemas voluntários têm ganhado expressiva relevância como estratégia de valorização da imagem institucional, diferenciação competitiva no mercado e contribuição efetiva para a economia circular (CNI, 2020; Ellen MacArthur Foundation, 2013). Tais iniciativas fortalecem a cadeia de reciclagem, promovem a inclusão socioeconômica de catadores e contribuem para a redução do volume de resíduos sólidos urbanos encaminhados a aterros sanitários (SOUZA; ALMEIDA, 2020; ABRELPE, 2023).

Um exemplo notável no contexto brasileiro é o programa Boti Recicla, desenvolvido pelo Grupo Boticário desde 2006. Trata-se de um sistema voluntário de logística reversa de embalagens de cosméticos, aberto inclusive a marcas concorrentes. Os consumidores depositam as embalagens pós-consumo diretamente nas lojas da rede, que atuam como pontos de coleta.

² O Estado de São Paulo está organizado em 14 Regiões Administrativas (RAs), que agrupam os 645 municípios com o objetivo de facilitar a gestão pública, o planejamento territorial e a implementação de políticas públicas.

Após a triagem, os materiais são encaminhados para a cadeia de reciclagem. O programa, presente em todo o território nacional, já reciclou mais de 1.600 toneladas de resíduos, destacando-se como uma referência em sustentabilidade no setor de beleza (GRUPO BOTICÁRIO, 2023).

Outro exemplo relevante de sistema voluntário de logística reversa no Brasil é o programa implementado pela Nespresso, voltado para a reciclagem de cápsulas de café.

Atuando desde 2011, a iniciativa permite que os consumidores devolvam cápsulas usadas em pontos de coleta localizados nas boutiques da marca, em redes parceiras, supermercados ou, ainda, por meio de coleta domiciliar agendada. Nesse processo, o alumínio das cápsulas é reciclado e os resíduos de café são destinados para fins agrícolas, como produção de adubo, ou para geração de energia por biodigestão. Ao antecipar exigências legais, o programa reforça o posicionamento da marca em relação à sustentabilidade, sendo frequentemente citado como um dos principais cases de logística reversa voluntária no setor de alimentos e bebidas (NESPRESSO, 2022).

Essas iniciativas voluntárias são reconhecidas como complementares aos mecanismos legalmente exigidos, conforme previsto no Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2022). Além de fortalecer a imagem corporativa, têm potencial para gerar créditos de logística reversa, passíveis de compensação por outras empresas nos sistemas de metas compartilhadas.

Nesse sentido, a logística reversa voluntária consolida-se como uma ferramenta estratégica, capaz de aliar compromisso ambiental, inovação empresarial e contribuição efetiva para a transição ao modelo de economia circular, baseado na extensão do ciclo de vida dos produtos e na reintegração dos materiais à cadeia produtiva.

Entre as políticas, a logística reversa se destaca como mecanismo essencial para a reinserção de resíduos nos ciclos produtivos, em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A próxima seção apresentará o Procedimento Metodológico, no qual serão descritas as etapas para elaboração do presente estudo.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento racional e sistemático que busca oferecer respostas a problemas formulados, desenvolvido em diferentes etapas — da definição do problema à apresentação e discussão dos resultados — é definido por Gil (2007) como pesquisa. Sob essa perspectiva, este trabalho se insere no campo científico ao propor uma investigação aplicada à realidade de uma empresa de reciclagem de plásticos, cujo desafio central consiste na manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular.

No que se refere à natureza, esta é uma pesquisa aplicada, cujo caráter experiencial (Stake, 2011) evidencia sua finalidade prática: gerar subsídios concretos que contribuam para superar as dificuldades enfrentadas pelo setor, aprimorar os processos de reciclagem e fortalecer as práticas sustentáveis no segmento de plásticos. Além disso, apresenta caráter exploratório, pois busca aprofundar a compreensão de um problema ainda pouco investigado no contexto brasileiro: a viabilidade prática da manutenção de embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular.

Considerando o caráter exploratório deste estudo, partiu-se de alguns pressupostos que orientaram a análise, baseados em evidências da literatura sobre Economia Circular e reciclagem de plásticos. Pressupõe-se que as dificuldades de manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular não se restringem a limitações operacionais das empresas recicladoras, mas podem estar associadas a fatores externos, tais como:

- A complexidade das embalagens, em especial aquelas formadas por multicamadas ou polímeros de difícil reciclagem;
- A falta de padronização na utilização de polímeros pelas indústrias produtoras;
- A ocorrência de contaminação dos materiais pós-consumo, que compromete sua reciclabilidade;
- Deficiências estruturais na cadeia de coleta e triagem;

- Limitações de mercado e de incentivos econômicos para a manutenção dos materiais reciclados no ciclo técnico.

Esses pressupostos não constituem hipóteses a serem confirmadas ou refutadas, mas pontos de partida que orientam a coleta e interpretação dos dados, permitindo relacionar os princípios da Economia Circular com a realidade observada no estudo de caso.

Com base nos objetivos delineados no capítulo introdutório — em especial no objetivo geral de analisar os fatores que favorecem e dificultam a manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da economia circular —, definiu-se a adoção de uma abordagem qualitativa, voltada a explicar os fenômenos observados por meio da interpretação de seus significados e relações contextuais, e não pela quantificação de valores. Nesse sentido, a pesquisa qualitativa concentra-se nos aspectos da realidade que não podem ser mensurados numericamente, privilegiando a compreensão e a explicação das relações sociais (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Os procedimentos metodológicos foram delineados com base na necessidade de compreender em profundidade os desafios enfrentados pela empresa estudada no processo de manutenção das embalagens plásticas pós-consumo na economia circular.

Para tanto, a pesquisa foi sustentada por um referencial teórico construído a partir de artigos científicos indexados em bases como *Scopus* e *Web of Science*, além de livros, registros fotográficos, observações em campo e análise documental. Esse conjunto de fontes possibilita identificar padrões, interpretá-los e reproduzi-los, de modo a construir uma visão abrangente e detalhada da realidade investigada. Por exemplo, ao observar diretamente as etapas de triagem e processamento do plástico reciclado, é possível relacionar tais práticas com os princípios da Economia Circular e identificar pontos críticos que dificultam a manutenção efetiva das embalagens no ciclo técnico, seja pela limitação tecnológica dos processos, pela qualidade do material coletado ou pelas barreiras de mercado.

Conforme ressaltam Gibbs e Graham (2009), os fatores e características de um fenômeno somente podem ser compreendidos de forma adequada quando considerados em um contexto mais amplo, em interação com outros elementos. Essa perspectiva

teórica orienta a análise desenvolvida nesta pesquisa, ao enfatizar que a avaliação da manutenção das embalagens plásticas pós-consumo na economia circular deve contemplar não apenas os aspectos técnicos, mas também as dimensões sociais, econômicas e institucionais que influenciam a efetividade desse processo. Nesse sentido, a pesquisa de campo realizada — por meio de observações diretas, registros fotográficos e análise documental — constitui instrumento essencial para captar essa complexidade, permitindo relacionar a teoria com a realidade vivenciada pela empresa estudada.

Para facilitar a compreensão do percurso metodológico adotado, apresenta-se no Quadro 4, uma síntese dos principais elementos que estruturam a pesquisa — natureza, pressupostos, objetivos, abordagem e procedimentos. Essa sistematização permite visualizar de maneira integrada como cada componente metodológico se articula ao objetivo central do estudo.

Quadro 4 - Síntese metodológica

Aspecto	Definição na pesquisa
Natureza	Pesquisa aplicada, com caráter experiencial (STAKE, 2011), voltada a oferecer subsídios práticos para a melhoria dos processos de reciclagem. Apresenta também caráter exploratório, por investigar um tema ainda pouco aprofundado no contexto brasileiro: a viabilidade prática da manutenção de embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da economia circular.
Objetivo geral	Analisar os fatores que favorecem e os que dificultam a manutenção de embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da economia circular, com foco na identificação de características materiais, soluções adotadas e barreiras enfrentadas ao longo da cadeia de gestão dessas embalagens, em especial no contexto de micro e pequenas empresas de reciclagem.
Objetivos específicos	(i) Identificar e caracterizar as propriedades das embalagens plásticas pós-consumo que favorecem ou limitam sua permanência no ciclo técnico da economia circular, considerando aspectos como design, composição e reciclabilidade; (ii) Analisar as soluções e práticas circulares atualmente adotadas por micro e pequenas empresas atuantes na cadeia de coleta, triagem e reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo; (iii) Identificar e avaliar as principais barreiras técnicas, econômicas e operacionais que dificultam a circularidade das embalagens plásticas pós-consumo no contexto das micro e pequenas empresas de reciclagem; (iv) Evidenciar os fatores facilitadores que contribuem para ampliar a

	circularidade das embalagens plásticas no ciclo técnico; (v) Relacionar os achados empíricos do estudo de caso com o referencial teórico sobre economia circular, de modo a propor recomendações que fortaleçam a manutenção das embalagens plásticas pós-consumo.
Abordagem	Qualitativa, centrada na interpretação dos significados e das relações contextuais dos fenômenos, em vez da quantificação de valores (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).
Procedimentos	Fundamentação em referencial teórico (artigos científicos nas bases Scopus e Web of Science, livros) aliado a pesquisa de campo (observações diretas, registros fotográficos e análise documental), permitindo identificar padrões e interpretar a realidade da empresa estudada no contexto da economia circular.

Fonte: O autor.

Conforme sintetizado no Quadro 4, a pesquisa foi estruturada de modo a articular os princípios da Economia Circular com a realidade do setor de reciclagem de plásticos, evidenciando barreiras e facilitadores à manutenção das embalagens pós-consumo no ciclo técnico. A seguir, detalham-se os procedimentos de pesquisa de campo, fundamentais para a investigação exploratória, os quais possibilitam compreender de forma mais aprofundada os desafios enfrentados pela empresa estudada e relacioná-los às premissas teóricas previamente discutidas.

3.1 Detalhamento do procedimento para a investigação exploratória

Nos tópicos a seguir, são detalhados os procedimentos adotados para a elaboração da investigação exploratória. Ressalta-se que, a fim de preservar o anonimato da organização participante, optou-se por utilizar um nome fictício, doravante denominado “Empresa Alpha”.

➤ **Etapas 1 – Escolha da empresa participante**

A seleção da “Empresa Alpha” como unidade de análise nesta pesquisa foi pautada em três critérios fundamentais:

(i) estar devidamente constituída do ponto de vista jurídico, com regularização formal perante os órgãos competentes;

- (ii) atuar na triagem de resíduos sólidos urbanos, por meio de processos manuais e/ou mecanizados, abrangendo resíduos de origem residencial, comercial e industrial; e
- (iii) viabilizar o acesso a documentos e registros gerenciais contendo dados relacionados às etapas de coleta, triagem e destinação de embalagens plásticas pós-consumo.

Além desses critérios, ressalta-se que a escolha também se deu por conveniência, em razão da relação de proximidade entre a direção da empresa e o pesquisador, o que possibilitou maior facilidade de acesso às informações e à realização da pesquisa de campo, sem comprometer a imparcialidade da análise.

➤ **Etapa 2: Coleta dos dados**

Considerando o caráter exploratório da pesquisa e a adoção de técnicas de observação direta em campo, foi realizada, no dia 11 de junho de 2025, uma visita técnica guiada com o objetivo de levantar dados qualitativos aplicáveis ao presente estudo. A visita técnica teve duração de aproximadamente três horas, período no qual foram obtidas informações relevantes sobre os processos produtivos, o fluxo dos resíduos e as tecnologias empregadas na cadeia de destinação das embalagens plásticas pós-consumo.

A visita técnica permitiu identificar práticas e limitações relacionadas à manutenção das embalagens plásticas no ciclo técnico da economia circular, com ênfase em aspectos como o fluxo de resíduos, as tecnologias de triagem utilizadas e as características das embalagens que favorecem ou dificultam sua reciclabilidade. Essa análise buscou evidenciar como fatores como design, composição polimérica, contaminação e infraestrutura disponível que impactam a circularidade dos materiais, em consonância com os princípios discutidos no referencial teórico.

A coleta de dados qualitativos foi conduzida por meio da análise documental, complementada por observações em campo e registros fotográficos. A combinação desses instrumentos permitiu uma visão holística do fenômeno investigado, integrando aspectos técnicos, operacionais e estruturais.

O Quadro 5 a seguir apresenta os principais documentos analisados e os resultados observacionais obtidos ao longo da pesquisa.

Quadro 5 - Critérios para análise documental

Etapas	Análise Documental	Resultados Identificados
Entrada	- Notas fiscais de recebimento de resíduos - Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) - Demonstrativos de destinação de resíduos	• Mapeamento do fluxo de entrada e saída dos materiais • Identificação das principais origens • Tendências quantitativas de recebimento
Processo	- Registros de triagem e tratamento de embalagens plásticas pós consumo - Classificação por tipologia e volume - Registros de rejeitos	• Identificação de fatores produtivos. • Tendência da massa de material triado e tipologia de polímeros. • Tecnologias aplicadas. • Análise de facilitadores e gargalos.
Saída	- Notas fiscais e MTRs de saída	• Quantitativo das embalagens plásticas recicladas, rejeitadas ou reaproveitadas. • Avaliação ambiental dos tratamentos. • Fatores limitantes à reciclagem.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como complemento à coleta de dados, foi realizado o registro fotográfico das etapas do processo e dos equipamentos utilizados, conforme detalha o Quadro 6.

Quadro 6 - Critérios para o registro fotográfico

Registro Fotográfico	Objetivo
Registros fotográficos do processo produtivo	Utilizadas para descrever visualmente as etapas operacionais (recebimento, triagem, armazenamento e destinação) e fornecer evidências complementares à análise e discussão.
Fotografias dos equipamentos utilizados no processo	Ilustrar os recursos tecnológicos empregados nas operações de triagem e tratamento de embalagens plásticas pós-consumo, evidenciando a estrutura tecnológica presente.
Fotografias do processo de expedição	Evidenciar a forma de acondicionamento e destinação dos materiais para manutenção no ciclo técnico da EC.

Fonte: Elaborado pelo autor.

➤ **Etapa 3 - Tratamento dos dados**

A análise dos dados concentrou-se em aspectos relacionados à manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular, com destaque para:

i) a caracterização técnica das embalagens, considerando os tipos de polímeros predominantes, o grau de complexidade estrutural e a influência do design sobre sua reciclabilidade;

ii) a eficiência da triagem, analisada não apenas em termos de volumes processados e gargalos produtivos, mas também quanto ao impacto da contaminação e da falta de padronização dos polímeros na qualidade dos materiais recuperados;

iii) as destinações das embalagens, avaliando o potencial de circularidade por tipo de polímero e identificando barreiras que limitam sua permanência no ciclo técnico;

iv) a dimensão econômica das destinações, contemplando tanto a receita proveniente da comercialização quanto os custos associados aos rejeitos e às restrições de mercado que afetam a valorização dos materiais recicláveis; e

v) o alinhamento do modelo de negócio aos princípios da Economia Circular, destacando práticas que favorecem a circularidade e limitações que restringem sua efetividade.

As informações foram obtidas durante visita técnica guiada pelo diretor da empresa, por meio de observação direta, análise documental e entrevistas informais, permitindo registrar percepções qualitativas relevantes sobre os desafios operacionais, as decisões gerenciais e o funcionamento cotidiano da unidade.

Para o tratamento dos dados qualitativos, adotou-se a Análise Temática Categórica proposta por Bardin (2011), uma modalidade da análise de conteúdo que organiza os dados em categorias de sentido, permitindo identificar padrões recorrentes, contrastes e tendências nos materiais examinados. Trata-se de um conjunto de técnicas que, por meio de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo, possibilita inferir conhecimentos sobre as condições de produção e recepção das mensagens. O processo analítico desenvolve-se em três fases: (i) pré-análise, caracterizada pela leitura inicial do material e pela definição das categorias preliminares; (ii) exploração do material, etapa de codificação, categorização e recorte das unidades de registro; e (iii) tratamento,

inferência e interpretação, fase de síntese e articulação dos achados com o referencial teórico.

No presente estudo, essa abordagem possibilitou a codificação e organização das informações obtidas em campo — entrevistas, observações e documentos — em categorias analíticas previamente definidas com base nos objetivos da pesquisa e na literatura especializada em economia circular e embalagens plásticas. A aplicação da análise temática permitiu identificar padrões de sentido recorrentes, bem como barreiras e facilitadores que influenciam a manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico, fornecendo subsídios para relacionar os achados empíricos aos princípios teóricos da economia circular. As categorias analíticas adotadas — apresentadas no Quadro 7 — refletem essa articulação entre objetivos, dados empíricos e fundamentação teórica.

Quadro 7 - Categoria de análise temática

Categoria analítica	Subcategorias	Unidade de registro	Unidade de contexto
Características técnicas das embalagens	- Tipos de polímeros predominantes - Grau de complexidade estrutural - Impacto do design sobre a reciclabilidade - Padronização dos polímeros utilizados - Contaminação dos materiais pós-consumo	Descrição das propriedades físicas e estruturais das embalagens	Discussões sobre reciclabilidade e adequação ao ciclo técnico da economia circular
Eficiência operacional	- Volumes anuais processados - Indicadores de produtividade - Gargalos operacionais - Impacto da contaminação e padronização na triagem - Ações de melhoria operacional	Registros de desempenho e fluxos de triagem	Análises sobre capacidade produtiva e barreiras estruturais
Destinações dos materiais processados	- Classificação de reciclabilidade por tipo de polímero - Barreiras e facilitadores à manutenção no ciclo técnico	Informações sobre destinação final dos materiais	Discussões sobre circularidade e limitações do ciclo técnico

Avaliação econômica das destinações	- Receita com a comercialização - Despesa com rejeitos - Fatores de mercado que influenciam a valorização dos recicláveis	Dados de custos e receitas relacionados à gestão das embalagens	Contexto econômico e condições de mercado da reciclagem de plásticos
Relação do modelo de negócio com os princípios da economia circular	- Práticas que favorecem a circularidade - Limitações que restringem a circularidade	Práticas relatadas ou observadas sobre gestão circular	Discussões sobre alinhamento ou distanciamento em relação aos princípios da economia circular

Fonte: O autor.

Durante o processo de análise, os dados oriundos das diferentes fontes — documentos, entrevistas e observações em campo — foram triangulados com o objetivo de ampliar a confiabilidade e a validade dos achados. A codificação inicial foi realizada manualmente, permitindo a organização sistemática das informações e a identificação de padrões e tendências emergentes.

Concluída a apresentação dos procedimentos metodológicos, passa-se à exposição dos resultados obtidos a partir da pesquisa de campo, análise documental e entrevista realizada. Nesta etapa, os dados coletados são organizados conforme as categorias analíticas previamente definidas, de modo a fornecer uma visão estruturada dos aspectos técnicos, operacionais, econômicos e estratégicos relacionados à manutenção das embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular.

4. RESULTADOS

Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos a partir do estudo de campo realizado junto a um agente representativo do setor de reciclagem, cuja atuação compreende as etapas de triagem, beneficiamento, destinação e disposição ambientalmente adequada de embalagens plásticas pós-consumo.

4.1 Visão Geral da empresa

A empresa analisada, denominada nesse trabalho como “Empresa Alpha”, atua no setor de reciclagem, desenvolvendo atividades de coleta, triagem manual e beneficiamento de materiais recicláveis, com ênfase em sucata plástica e aparas de papelão. Sua principal fonte de matéria-prima, os resíduos, é proveniente de contratos de gerenciamento de resíduos industriais.

Há cerca de um ano, a Empresa Alpha firmou contrato com uma grande indústria do setor de cosméticos para o tratamento de embalagens pós-consumo, provenientes de pontos de entrega voluntária, no contexto de um sistema de logística reversa. Atualmente, aproximadamente 20% do volume total de materiais processados pela empresa tem origem nesse sistema.

Conforme ilustrado na Figura 9, as embalagens pós-consumo são armazenadas temporariamente em caixas de papelão no galpão de recebimento, aguardando o processo de triagem.

No que se refere aos resíduos triados e tratados, as aparas de papelão são encaminhadas a indústrias recicladoras, que as reaproveitam como matéria-prima na fabricação de novos produtos. As embalagens plásticas e aparas, por sua vez, são separadas por tipologia: o PET é beneficiado internamente, enquanto as demais embalagens com potencial mercadológico são comercializadas com a indústria de reciclagem de plásticos. Já as embalagens rejeitadas durante o processo são destinadas à recuperação energética ou ao aterro sanitário, conforme sua viabilidade técnica e econômica.

Figura 9 - Galpão de armazenamento temporário



Fonte: O autor

A empresa dispõe de infraestrutura dedicada exclusivamente à atividade de reciclagem e conta com equipe técnica própria para a execução das atividades operacionais e administrativas, estando devidamente licenciada pelos órgãos ambientais competentes. Sua atuação é reconhecida regionalmente, o que a configura como um agente relevante no fluxo de materiais recicláveis e no fortalecimento da logística reversa no setor de embalagens plásticas. O Quadro 9 aborda de forma geral as características da empresa.

Quadro 8 - Caracterização geral da Empresa Alpha

Aspecto	Informação
Localização	Araras - São Paulo
Porte econômico	Microempresa
Faturamento anual	Não disponível
Área construída	2.419 m ²
Tempo de atuação	12 anos
Capacidade produtiva	Aproximadamente 1.700 kg/hora
Número de funcionários diretos	25

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 Fluxo operacional da unidade produtiva

O diagrama apresentado na Figura 10 representa o processo operacional da empresa analisada, descrevendo de forma sequencial e estruturada as principais etapas envolvidas no manejo de embalagens plásticas pós-consumo.

A utilização do diagrama como instrumento de representação visual contribui para uma melhor compreensão da dinâmica interna da unidade de reciclagem, permitindo observar como os materiais são processados, transformados ou descartados ao longo do fluxo operacional.

Figura 10 - Fluxo operacional



Fonte: O autor

O detalhamento do fluxo de processo é apresentado a seguir:

i) Recebimento e pesagem

O processo em que os resíduos provenientes das coletas de resíduos recicláveis pós-industrial, das cooperativas de catadores, dos catadores autônomos e originários de sistemas de logística reversa de embalagens em geral é denominado na unidade produtiva como “recebimento”.

Figura 11 - Recebimento de embalagens pós-consumo e pós-industrial



Fonte: O autor.

Conforme ilustra a Figura 11, os materiais são recepcionados em diversas formas de acondicionamento, tais como: bags, caixas de transporte, compactados, fardos ou a granel.

Ainda na fase de recebimento, uma pré-triagem é realizada de forma que o sistema de gestão da empresa seja alimentado com informações prévias, como a origem, manifesto de transporte, notas fiscais e tipo de material.

A etapa de pesagem ocorre em dois momentos, subsequente ao recebimento para fins de balanço de massa e na etapa anterior ao processo de triagem e segregação.

As informações de pesagem são transcritas manualmente por meio de formulários de controle de processo e os materiais identificados.

Após a etapa de pesagem e identificação, os materiais seguem para o processo de armazenamento temporário.

ii) Armazenamento temporário

O armazenamento temporário consiste no processo de formação de lotes de produção, tipo *buffers*, enquanto se aguarda a fila de processo estabelecido pelo planejamento de produção. A empresa conta com um líder operacional responsável por realizar o sequenciamento de produção.

Os materiais são inicialmente armazenados conforme sua tipologia e origem, com o objetivo de facilitar os processos subsequentes de triagem, beneficiamento e destinação. Resíduos plásticos e aparas de papelão provenientes de fontes pós-

industriais ou de cooperativas de catadores, já prensados ou a granel, são direcionados a uma área específica do galpão da empresa. Em geral, esses resíduos chegam previamente triados e acondicionados por tipo, formando lotes de aparas de papel e papelão e de sucata plástica — embora, nesse estágio, os resíduos plásticos ainda estejam misturados entre diferentes tipos de polímeros.

Por sua vez, os resíduos originados de sistemas de logística reversa, geralmente embalados em caixas de papelão, são direcionados a uma área separada dentro do galpão, onde ocorre a triagem manual e segregação por tipologia para posterior encaminhamento.

Figura 12 - Armazenamento temporário de caixarias e de material a granel



Fonte: O autor.

A Figura 12 ilustra os materiais armazenados temporariamente: na imagem à esquerda, observam-se paletes e bags contendo embalagens plásticas pós-consumo; na imagem à direita, encontram-se resíduos pós-industriais recebidos a granel e posteriormente enfardados.

iii) Triagem

A atividade de triagem é considerada, pela empresa analisada, a etapa mais crítica da operação, uma vez que é por meio dela que os resíduos são separados por tipologia, possibilitando seu encaminhamento aos processos subsequentes. Na cadeia de valorização dos resíduos sólidos, a triagem desempenha papel central na definição da qualidade da matéria-prima que será reinserida nos ciclos produtivos.

Conforme mencionado, a empresa recebe majoritariamente aparas de papelão e sucatas plásticas diversas, as quais, no processo de triagem, são segmentadas em categorias específicas, conforme descrito a seguir:

a) Triagem de resíduos pós-industriais

Esses resíduos têm origem em contratos de gerenciamento de resíduos com empresas dos setores alimentício, de bebidas, cosméticos e centros de distribuição logística. De acordo com as informações obtidas durante a visita técnica guiada, a composição média desses resíduos é de aproximadamente 40% de sucata plástica e 60% de sucata de papelão.

A unidade analisada apresenta elevada taxa de recuperação (cerca de 88%) desses materiais, atribuída à homogeneidade dos resíduos recebidos, ao baixo grau de contaminação e ao alto potencial de reaproveitamento. Os resíduos pós-industriais são separados em três principais categorias:

- Aparas de papelão: Recebidos a granel, os materiais são organizados em grandes pilhas e passam por uma triagem manual visual, realizada por uma equipe operacional treinada. Esse procedimento é conhecido internamente como “catação”.
- Sucata Plástica: O processo é semelhante ao aplicado às aparas de papel. As sucatas plásticas, recebidas a granel, são armazenadas em baias e submetidas à triagem visual inicial. Caso haja dúvidas quanto à composição, realiza-se o teste de queima, conduzido por técnico da empresa. Esse teste baseia-se na observação das características da combustão (cor da chama, odor e comportamento da queima) para identificação do tipo de polímero. A partir do diagnóstico, as sucatas são segregadas por tipo de material em big bags ou baias específicas, conforme a seguinte classificação: (a) Polipropileno – PP: embalagens flexíveis, frascos, tampas, potes, filmes; (b) Polietileno de Alta Densidade – PEAD: sacos, bags, bombonas, tampas, potes; (c) Polietileno de Baixa Densidade – PEBD: stretch filme, embalagens flexíveis; (d) Poliestireno – PS: bandejas, potes; (e) Policloreto de Vinila – PVC: lonas, placas, filmes flexíveis; (f) Polietileno Tereftalato – PET: garrafas e embalagens rígidas; (g) Outros – “Plástico 7” (misto):

materiais multicamadas, como embalagens metalizadas, filmes técnicos (PET+PP+PEBD), embalagens tipo *pouch*, entre outros.

Figura 13 - Triagem de sucata plástica pós-industrial



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Rejeitos: Os rejeitos provenientes do processo de triagem de resíduos pós-industriais, aproximadamente 12% da massa triada, é composto majoritariamente por filmes e sucatas plásticas contaminadas, embalagens flexíveis multicamadas e outros materiais sem valor econômico no mercado da reciclagem, que após identificação são acondicionados em caçambas para posterior disposição final em aterros sanitários.

b) Triagem dos resíduos proveniente do Sistema de Logística Reversa

O processo de triagem de embalagens pós-consumo provenientes do Sistema de Logística Reversa (SLR) consiste na identificação visual e na separação manual dos resíduos, conforme a tipologia previamente estabelecida pela empresa.

A operação é realizada em duas esteiras transportadoras, com 15 metros de comprimento e 1,5 metro de largura cada, que operam em baixa velocidade e deslocam os resíduos em linha horizontal, permitindo a classificação manual dos materiais. Em cada esteira, estão dispostos oito operadores, distribuídos lateralmente ao longo da extensão do equipamento. A função desses profissionais é identificar manualmente e segregar os diferentes tipos de materiais, depositando-os em big bags específicos, conforme as seguintes categorias:

- a) Embalagens metálicas (aço e alumínio);
- b) Embalagens aerossol;
- c) Embalagens de vidro;
- d) Embalagens de papel e papelão;
- e) Embalagens plásticas (objeto central deste estudo).

iv) Beneficiamento

Na empresa analisada, os resíduos triados — sejam oriundos de processos industriais ou de sistemas de logística reversa — são submetidos a diferentes etapas de beneficiamento, conforme a natureza do material. As operações incluem compactação em prensas enfardadeiras para formação de fardos, remoção manual de componentes como tampas, válvulas e pumps com molas, além de processos de trituração e aglutinação, quando aplicável.

No caso específico dos materiais plásticos, as etapas subsequentes são descritas a seguir:

- a) Embalagens plásticas flexíveis diversas e embalagens com baixa rigidez

Nessa etapa do processo, as embalagens plásticas flexíveis e de baixa rigidez são compactadas em prensas enfardadeiras para a formação de fardos, visando otimizar o armazenamento e possibilitar a constituição do lote mínimo necessário ao transporte (Figura 14).

Figura 14 – Compactação de plásticos



Fonte: Registro do autor.

- b) Embalagens plásticas rígidas (exceto PET), com tampa simples (sem mola metálica).

As embalagens plásticas rígidas são submetidas à triagem manual em esteira classificadora, realizada por oito colaboradoras. Nessa etapa, os materiais são segregados por tipologia polimérica, sendo os rejeitos separados. Os polímeros classificados são acondicionados em big bags para posterior destinação (Figura 15).

Figura 15 - Embalagens pós consumo em etapa de triagem





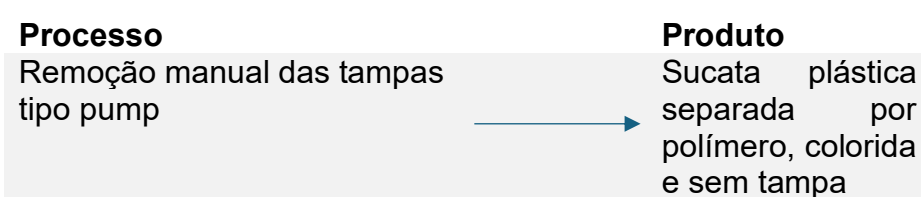
Fonte: O autor.

c) Embalagens plásticas rígidas, com tampa tipo “*pump*”

As embalagens plásticas pós-consumo com tampas do tipo “pump” são separadas das embalagens com tampas simples, visando à posterior remoção. Essa segregação é necessária, pois as tampas geralmente são compostas por polímeros diferentes dos usados no corpo da embalagem e podem conter molas ou outros contaminantes, como componentes metálicos, adesivos ou resíduos químicos, que reduzem o valor agregado do material no mercado da reciclagem ou até mesmo inviabilizam seu reaproveitamento (Figura 16).

Após a remoção das tampas, as embalagens plásticas classificadas são acondicionadas em bags e disponibilizadas para comercializadas. As tampas e outros contaminantes classificados como rejeitos são acondicionados e separados para posterior destinação final para serem utilizados como Combustível Derivado de Resíduo (CDR), utilizado como combustível em fornos de cimento.

Figura 16 - Remoção de tampas e outras contaminantes





Fonte: O autor.

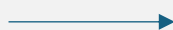
d) Embalagens plásticas PET transparente ou colorida

No processamento das embalagens plásticas compostas por PET, após a triagem e separação entre PET cristal e PET colorido, os materiais são submetidos ao processo de laminação. Nesse processo, as embalagens passam por um moinho, que as transforma em lâminas. Após a laminação, os materiais são agrupados e preparados para as etapas subsequentes de processamento (Figura 17).

Figura 17 - Processamento de embalagens PET

Processo 1

Trituração



Produto

Lâmina de PET
Cristal ou colorido



Fonte: O autor.

Após a laminação das embalagens plásticas compostas por PET, o material é submetido ao processo de aglutinação, no qual as lâminas de PET são fundidas por alta temperatura e pressão, resultando na formação de resina de PET. Esse processo de aglutinação é essencial para a transformação das lâminas em resina. Após, a resina PCR de PET é acondicionada em BAG para posterior comercialização.

Figura 18 - Aglutinação do PET

Processo 2
Aglutinação

Produto

Resina de PET



Fonte: O autor.

e) Rejeitos

Os rejeitos provenientes da triagem de materiais oriundos da logística reversa de embalagens são gerados durante o próprio processo de separação. Ao final da esteira de triagem, encontra-se posicionado um big bag destinado à recepção dos materiais não aproveitáveis (Figura 19).

Atualmente, são considerados rejeitos, na empresa, as embalagens identificadas com o número 7, cuja composição majoritária corresponde a embalagens plásticas flexíveis multicamadas — como laminados (ex.: PE+PET), embalagens do tipo *pouch* e outros materiais compostos. Também são descartadas as embalagens com elevado grau de contaminação ou aquelas que ainda contêm resíduos significativos de produto, inviabilizando sua reciclagem.

Os rejeitos são destinados para produção de CDR, que servirão de combustível na indústria de cimento.

Figura 19 - Rejeito do processo de triagem



Fonte: O autor

v) Destinação ou disposição final

No que se refere às embalagens plásticas provenientes do sistema de logística reversa, após o processo de beneficiamento, os materiais recicláveis, com exceção de embalagens PET, são encaminhados indústria da reciclagem, responsáveis pela produção de pellets de resina pós-consumo (PCR), que poderão ser utilizados na fabricação de novas embalagens plásticas ou outros artefatos derivados de polímeros reciclados, ou seja, são mantidos como insumo na EC.

Quanto aos rejeitos gerados durante o processo, estes são enviados para unidades especializadas na formulação de blendas de resíduos, que posteriormente são destinadas à indústria cimenteira como CDR. Nesse setor, os materiais são utilizados como combustível alternativo em fornos rotativos para a produção de clínquer, principal insumo na fabricação de cimento.

4.3 Caracterização das embalagens plásticas pós-consumo processadas

No âmbito das embalagens plásticas pós-consumo provenientes do sistema de logística reversa, observa-se a predominância de embalagens utilizadas no setor de

cosméticos, tais como frascos, bisnagas, *pouches*, potes, tampas e tubos. Também são identificadas embalagens fabricadas com filmes flexíveis monocamadas e multicamadas.

Essa predominância está diretamente relacionada à estrutura e aos objetivos do sistema de logística reversa, o qual, por meio de parcerias com pontos de entrega voluntária — com destaque para estabelecimentos do setor de cosméticos — e com cooperativas de catadores, que direciona esforços à coleta de embalagens oriundas de produtos cosméticos.

No entanto, vale ressaltar que não há restrições quanto à inclusão de embalagens de outros segmentos industriais, sendo possível a coleta de embalagens diversas nesses mesmos pontos de recebimento.

Dessa forma, observa-se uma ampla variedade de resinas poliméricas, que entre os mais recorrentes, destacam-se (Quadro 9):

Quadro 9 - Característica das embalagens plásticas pós consumo processadas

Embalagem	Composição	Propriedades	Facilitadores e dificultadores
Frascos e potes	PEAD, PP, PET	São majoritariamente compostas em polietileno de alta densidade (PEAD), Polietileno Tereftalato (PET) e polipropileno (PP), plásticos com boa resistência mecânica.	<u>Facilitadores</u> - Embalagens de alta reciclabilidade e de fácil processamento.
			<u>Dificultadores</u> - Embalagens com válvulas e molas exigem processos subsequentes de separação e consequente maior custo de mão-de-obra e baixa ineficiência operacional pela necessidade de remoção das tampas do corpo da embalagem. - Embalagens contendo resíduos de produtos são descartados como rejeito.
Bisnagas e outros plásticos flexíveis	PEBD, PE + EVOH (multicamadas)	São compostas por polietileno de baixa densidade (PEBD), ou estruturas coextrudadas que combinam diferentes	<u>Facilitadores</u> Filmes flexíveis de PEBD são facilmente triados e enfardados, resultado em alta eficiência operacional e logístico. O material tem boa aceitação no mercado da reciclagem. <u>Dificultadores</u>

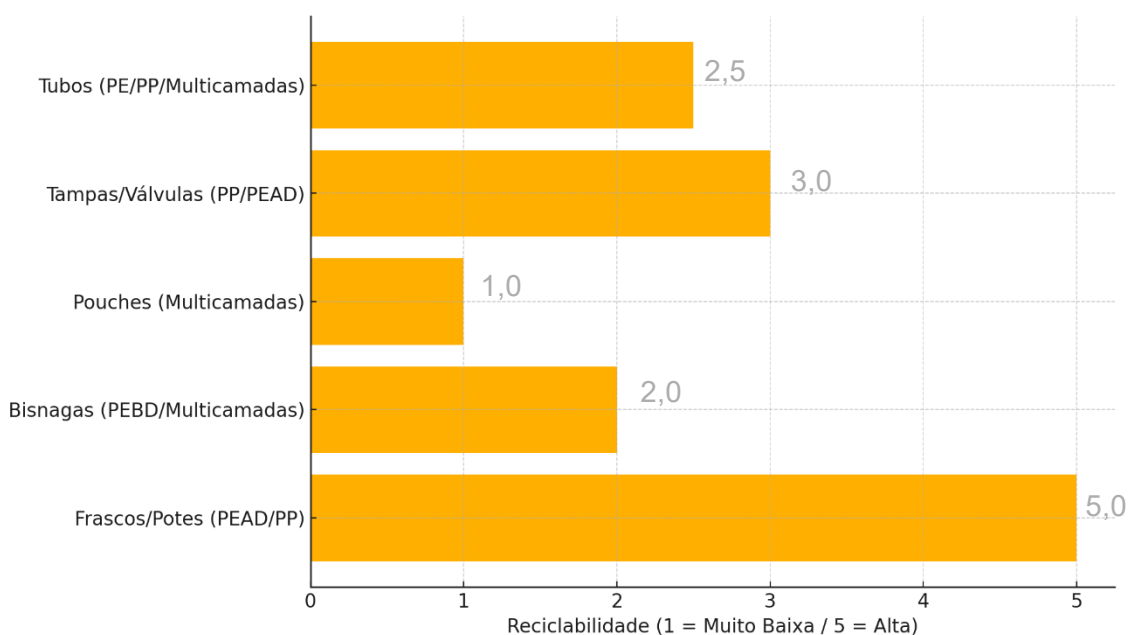
		camadas de polímeros, como PE com barreiras de EVOH (álcool etileno vinílico).	Bisnagas compostas por PE+EVOH atualmente não possuem viabilidade técnica e econômica para reciclagem, resultando na destinação para coprocessamento.
Pouches	PET/PE, PET/PP, com alumínio (multicamadas)	Constituídos por estruturas complexas, contendo camadas de PET, PE, PP, alumínio e adesivos.	<u>Facilitadores</u> - Embalagem de fácil identificação e separação no processo de triagem, resultando em eficiência operacional no processo de triagem. <u>Dificultadores</u> Sua reciclabilidade é considerada como muito baixa, com baixo interesse do mercado quando destinado a reciclagem mecânica, geralmente para aplicações que não possuem escala produtiva, como produção de telhas, bancos, cantoneiras e outros produtos menos nobres. Frequentemente são destinados a coprocessamento.
Tampas e válvulas	PP, PEAD	Produzidas em PP ou PEAD, podendo conter elementos metálicos.	<u>Facilitadores</u> - Quando recebidas separadas do corpo da embalagem, sua triagem é facilitada, resultando em eficiência operacional <u>Dificultadores</u> - Embalagens contendo tampas e válvulas com presença de componentes metálicos, molas, pigmentos ou elastômeros impactam na pureza do material e consequentemente, sua reciclabilidade e alta taxa de rejeitos de processo.
Tubos	PE, PP, multicamadas	Os tubos plásticos podem conter PE, PP ou multicamadas, combinando	<u>Facilitadores</u> - Em função do formato, possui fácil identificação no processo de triagem. - Quando compostos por monopolímeros, há aceitação no mercado da reciclagem.

		propriedades de flexibilidade, resistência e vedação	<u>Dificultadores</u> - Geralmente os tubos possuem residual de produto, tornando inviável a comercialização; - Embalagens com múltiplas camadas e aditivos dificultam o aproveitamento, resultado no aumento da taxa de rejeitos.
--	--	--	--

Fonte: O autor – a partir de observação de campo

A seguir, o gráfico da Figura 15 ilustra, de forma comparativa, o grau de reciclabilidade dos diferentes tipos de embalagens, considerando os tipos de polímeros mais utilizados e suas características estruturais.

Figura 20 - Gráfico comparativo de reciclabilidade de embalagens por tipo de polímero



Fonte: Coleta de dados obtidas por meio de relatos, notas fiscais de comercialização e manifestos de transporte de resíduos

Conforme evidenciado no gráfico da Figura 19, observa-se que embalagens monomateriais e com menor complexidade estrutural apresentam maior potencial de reciclabilidade, favorecendo sua reinserção no ciclo produtivo. Essa característica contribui de forma significativa para a manutenção do valor dos polímeros e para o fortalecimento da lógica circular, promovendo o avanço efetivo da economia circular.

4.4 Eficiência operacional

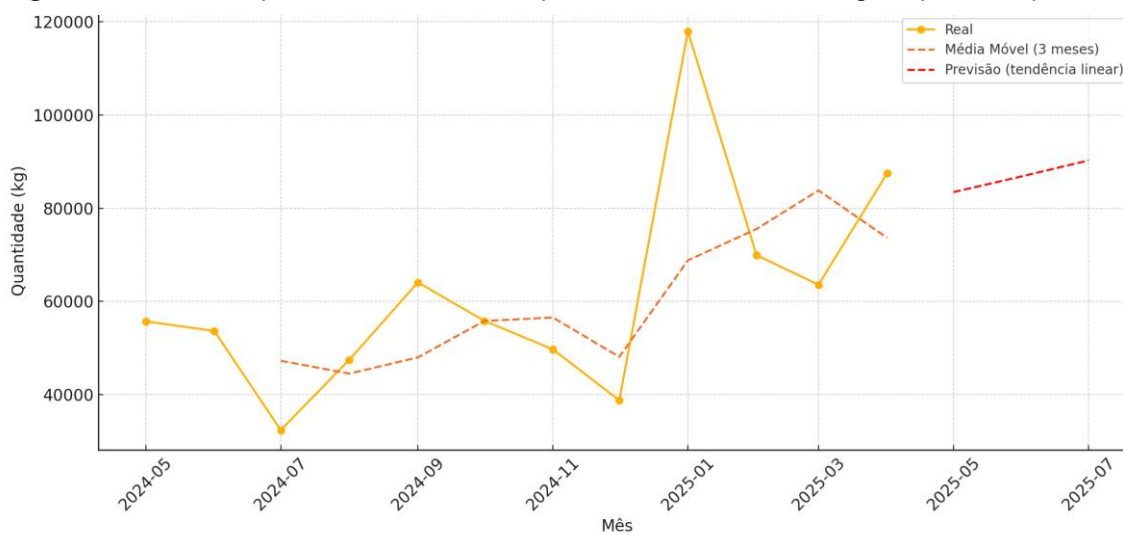
A eficiência operacional dos recicladores é um fator decisivo para o sucesso da cadeia de embalagens plásticas. Observa-se que a composição heterogênea dessas embalagens, o processo manual de triagem e segregação e a presença frequente de contaminantes, apresenta desafios técnicos e econômicos que podem impactar diretamente a produtividade da unidade produtiva e a qualidade do material triado ou reciclado.

4.4.1 Volumes anuais processados

Considerando a vigência do contrato de parceria com a gestora do Sistema de Logística Reversa de Embalagens em Geral, os dados analisados referem-se à massa de resíduos plásticos processados ao longo de um período de 12 meses, compreendido entre maio de 2024 e maio de 2025, conforme série temporal apresentada na Figura 20.

De acordo com as informações fornecidas pelo reciclador analisado neste estudo, no referido intervalo foram recebidas e processadas 736.419,50 kg de embalagens plásticas pós-consumo, oriundas do sistema de logística reversa.

Figura 21 - Série temporal de recebimento e processamento de embalagens plásticas pós consumo



Fonte: Dados obtidos por meio de Relatório de recebimento e Manifesto de Transporte de Resíduos

A análise da série temporal revela que o maior volume operacional foi registrado em janeiro de 2025, com 117.962 kg de embalagens plásticas processadas, uma operação com variação significativa ao longo dos meses, com picos expressivos, quedas pontuais e uma tendência geral de crescimento.

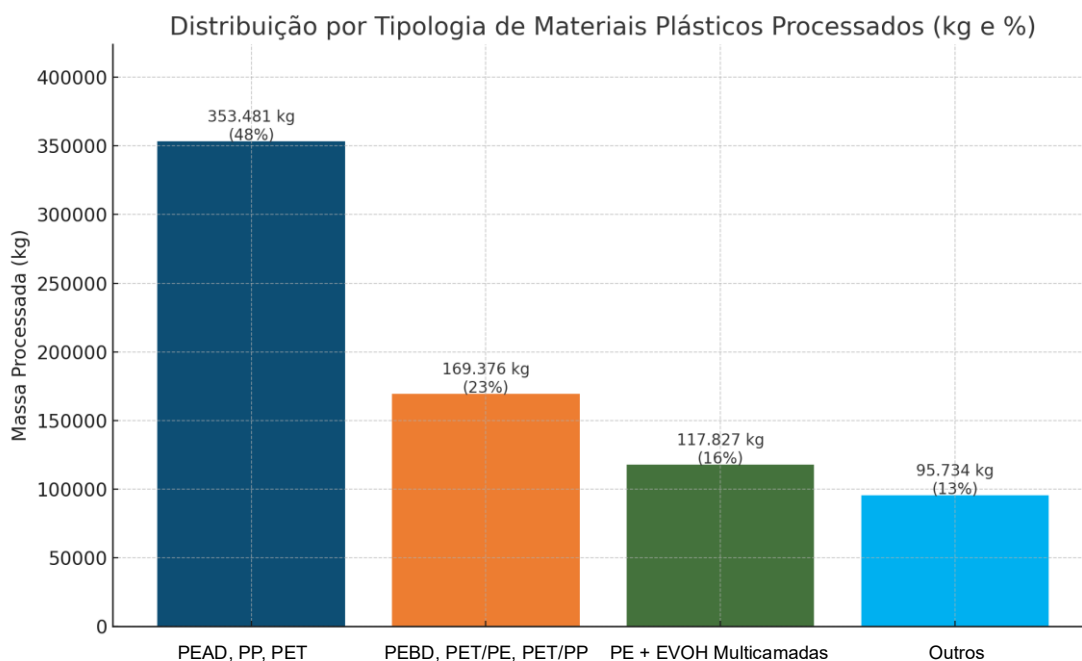
Segundo informações obtidas durante a visita técnica guiada, a concentração dos maiores volumes operacionais no primeiro quadrimestre de 2025 pode estar relacionada a dois fatores principais: (i) o aumento no volume de resíduos recebidos nos Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), impulsionado por campanhas de engajamento promovidas por marcas no início do ano; e (ii) o desinteresse de algumas cooperativas de catadores, também participantes do sistema de logística reversa, em absorver determinados materiais.

Considerando a projeção de tendência linear, observa-se a manutenção de volumes elevados nos três meses subsequentes, com estimativas superiores a 90 mil kg/mês. Essa tendência é corroborada pelas previsões de processamento planejado informadas pelo reciclador.

Quanto à composição polimérica das embalagens plásticas triadas, destaca-se o predomínio de polímeros recicláveis convencionais, especialmente polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP) e polietileno tereftalato (PET). A Figura 22

apresenta a distribuição percentual dos materiais plásticos processados no período analisado.

Figura 22- Gráfico de distribuição por tipologia de embalagens plásticas processadas



Fonte: Relatórios de produção, Manifestos de Transporte de Resíduos, Notas fiscais de venda

Analisando o comportamento do gráfico apresentado na Figura 22, foram processados 353.481 kg de embalagens compostas por PEAD, PP e PET no período avaliado, representando 48% do total processado. Segundo informações obtidas, essa predominância está diretamente relacionada as características das embalagens utilizadas na indústria de cosméticos e alinhadas com os objetivos do sistema de logística reversa.

Por outro lado, o polietileno de baixa densidade (PEBD) — presente em tampas, filmes e sacarias flexíveis — representa 23% do total processado, correspondendo a 169.376 kg. Já os materiais multicamadas, como PET/PE, PET/PP e PE+EVOH, totalizam 16%, o equivalente a 117.827 kg.

O grupo classificado como “Outros”, que inclui materiais mistos, contaminados ou não identificáveis, além de embalagens metalizadas ou com resíduos de produtos, corresponde a 13% do volume total processado, ou seja, 95.734 kg.

A distribuição polimérica observada exerce influência direta sobre os volumes mensais processados. Meses com maior proporção de recebimento de materiais multicamadas ou pertencentes à categoria “Outros” tendem a apresentar índices mais elevados de rejeitos, com impacto negativo sobre os indicadores de produtividade, especialmente sobre o indicador de produtividade efetiva por hora-trabalhador e sobre o volume efetivamente reciclado.

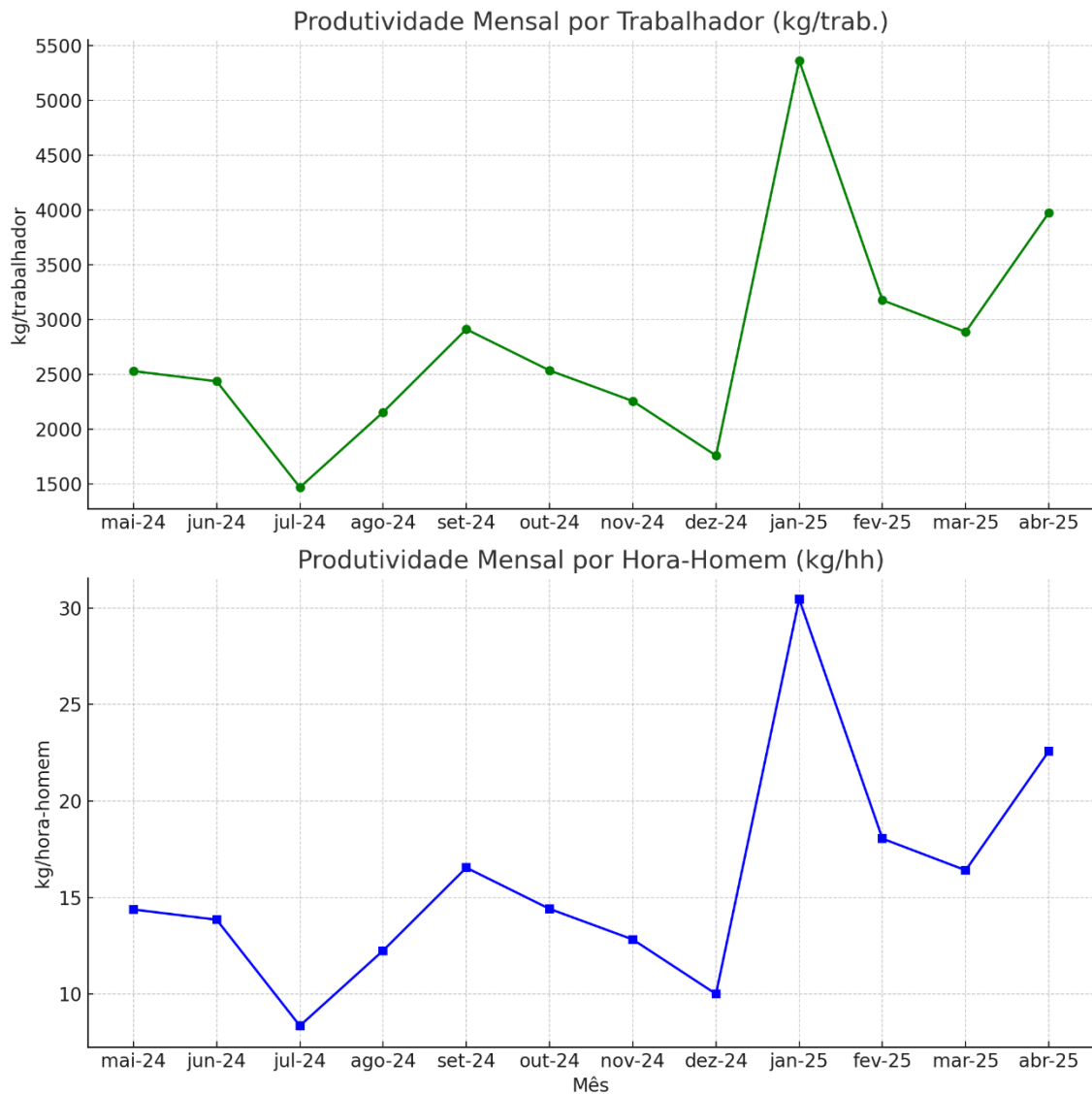
4.4.2 Indicadores de produtividade

No que se refere aos indicadores de produtividade no processamento de embalagens plásticas pós-consumo, as informações foram obtidas por meio de relatórios operacionais da empresa e de dados coletados durante a visita técnica guiada.

Com base na estrutura operacional observada, composta por 22 trabalhadores atuando em regime de 8 horas diárias durante 22 dias úteis por mês, estimou-se uma carga horária total de 3.872 horas-homem/mês. Considerando o volume médio mensal processado de 61.368 kg, obteve-se uma produtividade média de 2.789 kg por trabalhador ao mês, o que corresponde a aproximadamente 15,85 kg por hora-homem.

Os gráficos apresentados na Figura 23 ilustram a variação da produtividade mensal por trabalhador, refletindo influências como eficiência operacional, sazonalidade das coletas e composição dos materiais plásticos recebidos em cada período.

Figura 23 - Gráfico de produtividade operacional



Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise dos indicadores de produtividade forneceu uma visão da eficiência operacional no processamento de embalagens plásticas pós-consumo. No entanto, para entender melhor as limitações dessa produtividade e os fatores que impactam diretamente no desempenho da operação, é necessário abordar os principais gargalos operacionais observados durante o estudo de campo. Esses gargalos são responsáveis por reduzir a eficiência e aumentar os custos operacionais, afetando negativamente o desempenho geral da empresa e a sustentabilidade do processo de reciclagem.

Na sequência, serão discutidos os principais gargalos operacionais que impactam a eficiência do processo e os desafios enfrentados pela empresa no contexto da reciclagem de embalagens plásticas.

4.4.3 Principais gargalos operacionais observados

Durante o estudo de campo, foram relatados e identificados diversos fatores que impactam negativamente a eficiência da operação, elevação da taxa de rejeito e consequente impacto negativo no desempenho financeiro do reciclador, conforme abaixo:

- I. Baixa qualidade de parte dos materiais recebidos – especialmente embalagens contaminadas com produto, presença de resíduo orgânico ou embalagens demasiadamente sujas.
- II. Triagem manual e falta de automação – toda a etapa de triagem é realizada manualmente por operadores, o que torna o processo dependente de fatores humanos e consequente baixa velocidade, inconsistência, dependência da habilidade e atenção de cada colaborador.
- III. Baixa qualidade e heterogeneidade dos materiais – Embalagens multicamadas, pigmentadas, com rótulos ou válvulas metálicas, bisnagas, frascos com rótulos metalizados, *pouches* laminados com barreira metalizada, embalagens flexíveis metalizadas e outras embalagens classificadas como “7” necessitam de reprocessos que impactam na eficiência operacional, aumento da taxa de rejeitos e aumentos dos custos operacionais.
- IV. Embalagens sem identificação da composição polimérica – Embalagens de pigmentação preta e outras embalagens que não possuem o código de identificação da composição do(s) polímero(s) aplicados, ou seja, não identificáveis, dificultam o processo de triagem manual, geram processos subsequentes (teste de queima) e, quando não separadas, podem contaminar o lote dos produtos acabados.

- V. Ausência de processos intermediários de lavagem e densificação – No processo de beneficiamento das embalagens de PET, a aglutinação sem etapas prévias de limpeza pode resultar em grânulos com impurezas, reduzindo o desempenho comercial quando comparado ao reciclado de alta qualidade, e ainda, aumentar o desgaste de equipamentos pela presença de contaminantes e fragmentos metálicos.

Os gargalos operacionais identificados no estudo de campo evidenciam fatores que comprometem a eficiência do processo de reciclagem, como a baixa qualidade dos materiais recebidos, a triagem manual e a falta de processos intermediários, resultando em aumento da taxa de rejeitos e dos custos operacionais.

Na sequência, será abordado as rotas de destinação adotadas pela empresa para os materiais processados, detalhando as opções de reciclagem mecânica e coprocessamento, bem como as aplicações dos materiais reciclados.

4.5 Destinações dos materiais processados

A empresa em estudo adota diferentes rotas de destinação para os materiais processados, considerando critérios técnicos, econômicos e logísticos. Atualmente a empresa conta com fornecedores localizados no Estado de São Paulo, Minas Gerais e Paraná. De maneira geral, os resíduos recicláveis são destinados para reciclagem mecânica e os materiais não recicláveis e rejeitos, para blendagem/coprocessamento.

O Quadro 10 apresenta a rota de destinação e as principais aplicações utilizadas pela empresa.

Quadro 10 - Rota de destinação de materiais processados

Tipologia do Material	Reciclabilidade	Destino	Aplicações
PEAD	Alta	Recicladores (SP/MG/PR)	Conduítes, tampas, embalagens rígidas, baldes

PP	Alta	Recicladores (SP/MG/PR)	Autopeças, vasos, peças injetadas
PET	Alta	Recicladores (SP/MG/PR)	Fibras têxteis, fitas para arquear, embalagens termoformadas
PEBD	Média	Recicladores (SP/MG/PR)	Sacos de lixo, mantas, filmes de baixa qualidade
PET/PE, PET/PP, PE+EVOH	Baixa	Aplicações de baixo valor	Jardinagem, bases plásticas, placas de baixa densidade
Outros (mistos, pigmentados, metalizados)	Muito baixa	Aplicações de menor valor	Pallets, artefatos plásticos não estruturais
Rejeitos	Inexistente	Coprocessamento	Combustível alternativo (blend de resíduos)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados disponibilizados pela empresa

Conforme apresentou Quadro 10, a empresa adota diferentes rotas de destinação para os materiais processados, levando em consideração critérios técnicos, econômicos e logísticos. Essas estratégias de destinação são influenciadas diretamente pela qualidade dos materiais reciclados e a eficiência do processo.

A seguir, será apresentada a avaliação econômica das destinações, analisando o impacto financeiro das rotas adotadas, os preços de venda dos materiais recicláveis e as dificuldades associadas à comercialização de certos tipos de plásticos.

4.6 Avaliação econômica nas destinações dos materiais processados

Durante o período analisado (maio de 2024 a maio de 2025), a empresa obteve um faturamento total de R\$ 639.949,00 com a comercialização de materiais plásticos processados. Os materiais com maior valor agregado foram o polietileno de alta densidade (PEAD), o polipropileno (PP) e o polietileno tereftalato (PET), cujos preços médios de venda oscilaram entre R\$ 1,10 e R\$ 1,50 por quilograma, de acordo com as cotações praticadas pela empresa.

Embora o polietileno de baixa densidade (PEBD) também seja reciclável, apresenta menor valor de mercado e maior dificuldade de comercialização, em função de características técnicas e logísticas.

O Quadro 11 apresenta o faturamento aproximado obtido por tipo de material plástico reciclável, com base nos valores médios praticados no período em estudo.

Quadro 11 - Faturamento aproximado com a comercialização de materiais plásticos

Tipologia do Material	Volume (kg)	Valor Médio (R\$/kg)	Receita Aproximada (R\$)
PEAD	117.827	R\$ 1.40	R\$ 164.957,97
PP	117.827	R\$ 1.30	R\$ 153.175,26
PET	117.827	R\$ 1.20	R\$ 141.392,54
PEBD	169.376	R\$ 0.80	R\$ 135.501,19

Fonte: Elaborado pelo autor³

A análise econômica das destinações dos materiais processados revelou que os materiais de maior valor agregado, como PEAD, PP e PET, geraram receitas significativas, enquanto o PEBD, apesar de reciclável, apresentou menores retornos financeiros devido a dificuldades de comercialização e características técnicas. Esses dados financeiros foram fundamentais para entender o impacto econômico das rotas de destinação adotadas pela empresa e o desempenho geral das operações de reciclagem.

Na sequência, será abordado a despesa com o tratamento de rejeitos e materiais não recicláveis, detalhando os custos associados para tratamento de resíduos e materiais plásticos de difícil reciclagem, como os contaminados ou compostos por multicamadas.

4.6.1 Despesa com o tratamento de rejeitos e materiais não recicláveis

A empresa analisada, por questões contratuais relacionadas ao sistema de logística reversa, adota a rota tecnológica de blendagem para coprocessamento como solução para a destinação final dos rejeitos e dos materiais plásticos de difícil ou inviável reciclagem, como aqueles contaminados ou compostos por multicamadas. Conforme informações relatadas durante a visita técnica e evidenciadas no contrato de prestação

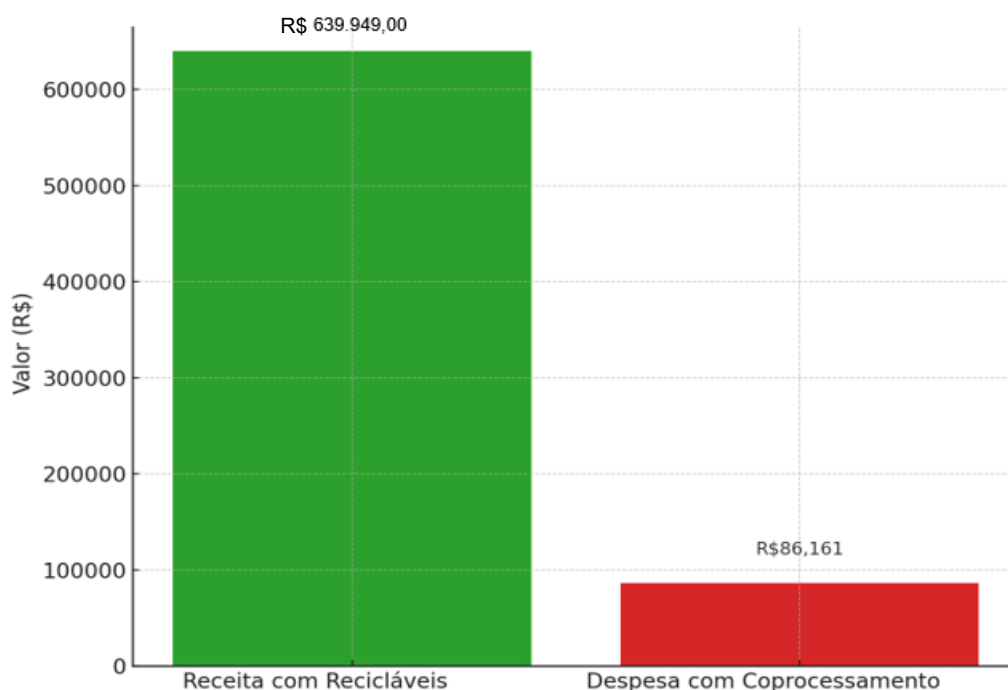
³ O dado informado pela empresa se restringiu ao faturamento anual e o preço médio de comercialização aplicado durante o período.

de serviços firmado com o fornecedor, o custo atual do coprocessamento é de R\$ 0,39 por quilograma, valor que já inclui as despesas com transporte.

Considerando que, segundo relatório da empresa, aproximadamente 30% do material processado é encaminhado para coprocessamento, o custo total do tratamento desses rejeitos no período de maio de 2024 a maio de 2025 foi de R\$ 86.161,08, o que corresponde a um custo médio mensal de R\$ 7.180,09.

Com base na relação entre faturamento e custo, observa-se que cerca de 13,5% do faturamento obtido com a comercialização dos recicláveis é destinada ao custeio do tratamento dos rejeitos, conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Gráfico comparativo entre faturamento e despesa



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Relação do modelo de negócio com os princípios da Economia Circular

O conceito de Economia Circular, como enfatizado por autores como Ghisellini *et al.* (2016) e Weetman (2022), representa um movimento crucial para a superação do modelo econômico linear de "extrair, produzir, consumir e descartar", propondo, em

contrapartida, o reaproveitamento contínuo dos materiais, a minimização de resíduos e a restauração de sistemas naturais.

A análise da relação entre o modelo de negócio da Empresa Alpha e os princípios da EC revela a adoção de práticas e estratégias alinhadas com o conceito de um sistema regenerativo e fechado de fluxos materiais, logística reversa e responsabilidade compartilhada, design e inovação, conforme ilustra o Quadro 13.

Quadro 12 - Princípios da EC e a relação com o modelo de negócio

Princípio da Economia Circular	Relação com o modelo de negócio	Autores/Fonte
Eliminar resíduos e poluição desde a origem	Prevenção da geração de resíduos e emissões por meio de design e processos eficientes.	Ellen MacArthur Foundation (2015)
Manter produtos e materiais em uso	Extensão do ciclo de vida dos materiais por meio da reutilização, remanufatura e reciclagem.	Kirchherr <i>et al.</i> (2017); Bocken <i>et al.</i> (2016)
Regenerar sistemas naturais	Reintegração de materiais à biosfera e promoção de fontes renováveis para restaurar o meio ambiente.	Geissdoerfer <i>et al.</i> (2017)
Valorizar o design circular	Criação de produtos com foco em reparo, desmontagem e reaproveitamento.	Lacy e Rutqvist (2015); Ellen MacArthur Foundation (2015)
Fomentar modelos de negócio circulares	Transição de modelos lineares para serviços, compartilhamento e cadeias reversas.	Bocken <i>et al.</i> (2016)

Fonte: O autor

A luz dos princípios centrais da economia circular sintetizado no Quadro 13, faz-se as seguintes considerações:

A – Primeiro Princípio

O primeiro princípio, eliminar resíduos e poluição desde a origem, embora ainda pouco estruturado na empresa estudada, apresenta potencial de aplicação a partir do redesenho de fluxos operacionais e da atuação mais próxima com os geradores de

resíduos, especialmente no contexto do projeto de logística reversa de embalagens. Essa perspectiva dialoga com o referencial teórico proposto Ellen MacArthur Foundation (2015), que defende a integração de estratégias de prevenção desde o design de produtos e sistemas.

B – Segundo Princípio

O segundo princípio, manter produtos e materiais em uso, manifesta-se com maior evidência nas práticas da empresa. A triagem manual, o beneficiamento do PET e a comercialização de frações recicláveis indicam esforços para manter os materiais no ciclo produtivo pelo maior tempo possível, conforme defendido por Kirchherr *et al.* (2017) e Bocken *et al.* (2016). Contudo, a destinação de parte dos resíduos ao aterro sanitário, por inviabilidade técnica ou econômica, ainda representa um limite à plena circularidade.

C – Terceiro Princípio

O terceiro princípio, regenerar sistemas naturais, aparece de forma mais indireta, associado às boas práticas ambientais e à destinação adequada dos rejeitos, especialmente quando destinados à recuperação energética. Embora não seja o foco direto da atuação da empresa, esse princípio conecta-se a lógica de impactos positivos sobre ecossistemas, como defendem Geissdoerfer *et al.* (2017).

D – Quarto Princípio

O quarto princípio se refere ao design circular, observa-se que a empresa não interfere diretamente no desenvolvimento das embalagens que recebe. No entanto, as dificuldades enfrentadas na triagem, evidenciam a importância de um design que facilite a reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo. Esse ponto reforça as críticas presentes na literatura quando às limitações estruturais da circularidade, especialmente no contexto das micro e pequenas empresas, que atuam no final da cadeia (Lacy e Rutqvist, 2015).

E – Quinto Princípio

O quinto princípio está relacionado ao fomento de modelo de negócios circulares, observado de forma parcial na empresa, sobretudo por meio do contrato firmado com a

indústria, no contexto da logística reversa. Essa parceria representa uma transição da lógica linear para uma abordagem colaborativa entre atores da cadeia de valor, conforme preconiza Bocken et al. (2016).

5. DISCUSSÃO

A crescente preocupação com os impactos ambientais das atividades humanas tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis, com destaque para a Economia Circular (EC). No contexto das embalagens plásticas pós-consumo, a EC visa reduzir os resíduos, aumentar a reciclabilidade e maximizar o reaproveitamento dos materiais poliméricos. No entanto, enfrenta desafios significativos, como a complexidade dos designs das embalagens e a limitação de infraestrutura para a reciclagem, especialmente no contexto brasileiro.

Os resultados obtidos nesta pesquisa estabelecem uma conexão entre a teoria da EC e as práticas observadas no setor de embalagens plásticas pós-consumo, com base nos princípios propostos pela Ellen MacArthur Foundation (2015) e aprofundados por autores como Kirchherr et al. (2017), Geissdoerfer *et al.* (2017) e Bocken *et al.* (2016). Foram identificados tanto facilitadores quanto dificultadores para a implementação da EC, destacando as questões relacionadas ao design das embalagens e as barreiras estruturais enfrentadas por recicladores, especialmente os de pequeno porte.

5.1 Facilitadores e dificultadores para a EC de embalagens plásticas pós-consumo

a) Embalagens monocamadas (PEAD, PET, PP):

As embalagens compostas por PEAD, PET e PP apresentam um dos maiores potenciais de reciclabilidade, devido à alta resistência mecânica e à facilidade de separação no processo de triagem. Esses materiais possuem uma boa aceitação no mercado de reciclagem e contribuem para a redução do consumo de matérias-primas e recursos naturais. No entanto, embalagens como frascos e potes com válvulas e molas exigem processos adicionais de separação, o que aumenta os custos operacionais e torna o processo de reciclagem menos eficiente. Além disso, embalagens contendo resíduos de produtos tornam-se rejeitos, resultando em perda de material que poderia ser reciclado.

b) Embalagens monocamadas e multicamadas compostas por PEBD: O PEBD e outros plásticos flexíveis têm uma boa aceitação no mercado de reciclagem, especialmente quando são compostos apenas por PEBD, que são facilmente triados e enfardados. No entanto, as embalagens compostas por camadas de PE + EVOH (álcool etileno vinílico) apresentam um grande desafio para a reciclagem devido às barreiras de EVOH, o que resulta na destinação para coprocessamento, uma solução menos sustentável. Isso limita a contribuição das embalagens multicamadas para a EC, já que essas embalagens não retornam ao ciclo produtivo e aumentam a pressão sobre os ecossistemas naturais.

c) Embalagens multicamadas do tipo Pouch:

As embalagens do tipo pouch (PET/PE, PET/PP, com alumínio) apresentam uma triagem eficiente devido à sua identificação clara durante a separação. No entanto, a reciclabilidade dessas embalagens é extremamente baixa devido à presença de múltiplas camadas, como o alumínio. Além disso, o mercado de reciclagem mecânica para esse tipo de embalagem é limitado, resultando frequentemente em sua destinação para coprocessamento. Esse fator representa uma barreira significativa para a economia circular, uma vez que essas embalagens não entram de forma eficiente no ciclo de reutilização ou reciclagem.

d) Tampas de Embalagens Compostas por PP ou PEAD:

As tampas de embalagens compostas por PP ou PEAD apresentam facilidades na triagem quando recebidas separadas do corpo da embalagem, aumentando a eficiência do processo de reciclagem. No entanto, as tampas e válvulas que contêm componentes metálicos, molas, pigmentos ou elastômeros dificultam a pureza do material reciclável, tornando a reciclagem mais cara e menos eficiente. A presença de elementos não plásticos contamina o material, aumentando a taxa de rejeitos e tornando o processo de reciclagem mais desafiador.

e) Embalagens tipo tubos (PE, PP, Multicamadas):

Os tubos plásticos compostos por PE, PP ou multicamadas podem ser facilmente identificados no processo de triagem, especialmente quando compostos por monopolímeros. Contudo, esses materiais frequentemente contêm resíduos de produtos, o que dificulta sua comercialização e reutilização. Além disso, as embalagens multicamadas ou com aditivos como pigmentos e estabilizantes aumentam a complexidade do processo de reciclagem, resultando em maior taxa de rejeitos. Isso representa um desafio significativo para a economia circular, pois essas embalagens aumentam os custos e dificultam a eficiência do processo de reciclagem.

f) Embalagens compostas por PET:

O PET é destacado por sua alta reciclabilidade e demanda constante no mercado de reciclados. A prática de beneficiamento interno de PET está alinhada com os princípios da Economia Circular, pois contribui para a redução do consumo de recursos naturais. No entanto, o mercado de reciclagem de PET enfrenta desafios relacionados à contaminação por outros materiais, o uso de pigmentos e a dificuldade de reciclar embalagens compostas por múltiplas camadas. O incentivo ao ecodesign das embalagens PET, promovendo maior uniformidade e facilidade de reciclagem, poderia ser uma solução importante para garantir a manutenção desse material em uso.

Em relação à superação dos dificultadores, propõe-se ações coordenadas entre governos, empresas e consumidores, as quais incluem:

- Criação de Políticas Públicas e regulamentações rigorosas: Os governos devem implementar e reforçar regulamentações que incentivem o ecodesign, padronização das embalagens e a adoção de tecnologias sustentáveis. Isso pode ser feito por meio de incentivos fiscais para empresas que adotem práticas circulares, e pela imposição de metas de reciclagem para os setores produtivos.
- Desenvolvimento de infraestruturas adequadas de reciclagem: Empresas e governos devem trabalhar em parceria para construir centros de triagem

especializados e aprimorar as capacidades logísticas, garantindo que a reciclagem seja mais eficiente, especialmente para embalagens complexas ou compostas por múltiplas camadas. Isso inclui a modernização de plantas de reciclagem existentes para aumentar sua capacidade e eficiência.

- Educação e conscientização de consumidores: Os consumidores precisam ser educados sobre as práticas de descarte correto e a importância da logística reversa. Programas educativos, campanhas de conscientização e incentivos à devolução das embalagens para reciclagem devem ser promovidos para criar uma cultura de responsabilidade compartilhada.
- Parcerias Público-Privadas (PPP): A criação de parcerias estratégicas entre empresas e governos pode acelerar o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem avançada, como a reciclagem química. Essas parcerias podem também ser responsáveis pela implementação de programas de logística reversa e pela promoção de soluções inovadoras para o reaproveitamento de materiais de embalagens.
- Apoio à inovação no design de embalagens: Empresas devem investir em pesquisa e desenvolvimento para criar embalagens que atendam aos critérios da Economia Circular. Isso inclui a utilização de materiais recicláveis, a eliminação de componentes não recicláveis e o design de embalagens mais simples e eficientes para facilitar sua triagem e reciclagem.

Em relação aos princípios da Economia Circular, observa-se que o princípio de manter produtos e materiais em uso é o mais amplamente incorporado nas práticas da empresa, especialmente por meio da triagem manual, separação por tipologia e beneficiamento de embalagens PET. Essa prática está alinhada com a visão de Kirchherr *et al.* (2017) e ABIPLAST (2023), que destacam a importância de ampliar os ciclos de uso dos materiais como estratégia central para a circularidade.

No entanto, princípios como a eliminação de resíduos na origem e a valorização do design circular ainda apresentam desafios consideráveis. A empresa não tem influência sobre o design das embalagens recebidas, o que a obriga a lidar com materiais multicamadas, pigmentados ou sem identificação polimérica, tornando o processo de

reciclagem mais complexo e oneroso. Isso limita a eficiência do sistema de reciclagem e destaca a necessidade de um maior envolvimento de todos os elos da cadeia produtiva para a criação de soluções circulares eficazes.

O Quadro 13 sintetiza as propostas de melhorias dos dificultadores para a efetiva EC de embalagens plásticas pós consumo, considerando as variáveis proposta, objetivo e ação sugerida, como segue:

Proposta	Objetivo	Ação Sugerida
Design para Reciclabilidade	Aumentar a reciclabilidade das embalagens	Implementar normas de design que priorizem materiais recicláveis e incentivem o uso de monopolímeros.
Investimento em Infraestrutura	Melhorar a coleta e triagem de embalagens	Criar centros especializados e modernizar a infraestrutura existente para a triagem e reciclagem de embalagens.
Políticas Públicas e Regulações	Incentivar a produção e o uso de embalagens sustentáveis	Criar regulamentações que obriguem o ecodesign e a padronização das embalagens para garantir eficiência na reciclagem.
Inovação em Tecnologias de Reciclagem	Ampliar as possibilidades de reciclagem de materiais compostos	Investir em tecnologias de reciclagem avançada, como a reciclagem química, para aumentar a gama de materiais recicláveis.
Logística Reversa	Criar um ciclo fechado para embalagens pós-consumo	Ampliar os programas de logística reversa estruturados, onde os consumidores devolvem as embalagens para reciclagem ou reutilização.

Fonte: O autor.

Ao concluir a análise dos desafios e dificultadores para a implementação da Economia Circular no setor de embalagens pós-consumo, destaca-se a necessidade de ações coordenadas entre governos, empresas e consumidores. As propostas de melhorias apresentadas no Quadro 13 evidenciam as ações essenciais para superar as barreiras atuais e promover práticas mais sustentáveis na cadeia produtiva. Para um aprofundamento das soluções e sua aplicação prática, passamos as Considerações finais, onde serão apresentadas as implicações dos achados desta pesquisa e as possíveis direções para a evolução da EC no contexto das embalagens plásticas pós-consumo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Economia Circular (EC) surge como uma solução estratégica e urgente para mitigar os impactos ambientais associados ao modelo linear de consumo, que tem se mostrado insustentável no longo prazo. No caso das embalagens plásticas pós-consumo, a implementação da EC pode ser vista como um caminho viável para a redução de resíduos plásticos, a reutilização de materiais poliméricos e a melhoria da eficiência dos processos de reciclagem. No entanto, a transição para um modelo circular eficaz ainda encontra desafios significativos, especialmente no Brasil, onde a falta de infraestrutura adequada e a ausência de padronização nas embalagens dificultam a reciclagem e o reaproveitamento de materiais.

Globalmente, o avanço da EC, como observado na União Europeia e em outros países desenvolvidos, tem mostrado que políticas públicas eficazes, incentivos à inovação e uma maior colaboração entre empresas e consumidores são essenciais para superar as barreiras e promover um modelo circular. A experiência brasileira, ao mesmo tempo que reflete essas dificuldades, também aponta para soluções que podem ser adaptadas ao contexto local.

Isso posto, o cenário brasileiro apresenta uma realidade desafiadora, com grande parte da coleta e triagem de resíduos realizada por microempresas e cooperativas de catadores, que enfrentam limitações operacionais e estruturais.

A presente dissertação teve como objetivo geral analisar os fatores que facilitam ou dificultam a circularidade de embalagens plásticas pós-consumo no ciclo técnico da Economia Circular, com foco na identificação de características materiais, soluções adotadas e barreiras enfrentadas ao longo da cadeia de gestão dessas embalagens, em especial no contexto de micro e pequenas empresas de reciclagem. Em relação aos objetivos específicos, foram caracterizadas as propriedades técnicas das embalagens, identificadas as soluções circulares adotadas pela empresa e mapeadas as barreiras operacionais, econômicas e técnicas enfrentadas ao longo do processo.

A análise dos facilitadores e dificultadores revela que, embora as embalagens plásticas possam apresentar boas oportunidades para a economia circular, – principalmente as embalagens monocamadas compostas por PE, PET, PEAD, PEBD e

PP – elas também enfrentam vários obstáculos, especialmente quando combinadas com múltiplos materiais e componentes difíceis de separar. Os principais desafios incluem a complexidade dos designs das embalagens, a presença de contaminantes e a falta de viabilidade técnica para reciclagem de materiais multicamadas. Para que a Economia Circular seja bem-sucedida no setor de embalagens plásticas, é fundamental a promoção da padronização e o design para reciclagem, investir em novas tecnologias de reciclagem de polímeros em embalagens multicamadas e garantir que a infraestrutura de reciclagem esteja equipada para lidar com essas complexidades.

Essa análise indica que, para avançar na Economia Circular, é necessário um esforço contínuo para melhorar a eficiência dos processos de triagem, reduzir a presença de materiais contaminantes nas embalagens e aumentar a viabilidade técnica e econômica da reciclagem de materiais complexos. A implementação de políticas públicas que incentivem a inovação, juntamente com uma maior colaboração entre os setores público e privado, são elementos-chave para superar esses desafios e contribuir para a transição bem-sucedida para a Economia Circular no Brasil.

No que diz respeito ao conceito de Economia Circular, a pesquisa proporciona uma reflexão sobre seus limites e alcances no contexto brasileiro. Embora os princípios da circularidade estejam amplamente disseminados, sua materialização ainda depende de fatores estruturais, como a articulação eficaz entre os atores da cadeia produtiva, o financiamento da infraestrutura necessária e a regulação técnica das embalagens. A realidade observada aponta que, embora seja possível alcançar avanços significativos mesmo com recursos limitados, a circularidade plena exige transformações sistêmicas profundas, conforme defendem Kirchherr et al. (2017) e Korhonen et al. (2018).

Do ponto de vista acadêmico, os resultados deste estudo contribuem para a literatura existente ao oferecer uma abordagem sobre as condições operacionais reais de recicladores de pequeno porte, uma lacuna ainda presente na literatura sobre Economia Circular, conforme apontado por Hopewell et al. (2009). No contexto brasileiro, onde o setor é predominantemente composto por microempresas, empresas de pequeno porte, cooperativas de catadores e catadores autônomos – que desempenham um papel fundamental na coleta e triagem de embalagens plásticas pós-consumo – a falta de estrutura adequada prejudica diretamente a manutenção dos nutrientes no ciclo técnico

da EC. A ausência de uma infraestrutura robusta para a coleta, triagem, processamento e reutilização de materiais dificulta a implementação eficiente de práticas circulares. Isso está alinhado com as observações de Kirchherr *et al.* (2017) e Korhonen *et al.* (2018), que enfatizam a necessidade de transformações sistêmicas profundas e estruturais para garantir a eficácia da circularidade.

Em termos práticos, os achados fornecem subsídios para o setor empresarial, destacando os facilitadores e dificultadores para a Economia Circular de embalagens plásticas pós-consumo. As barreiras operacionais identificadas, juntamente com a quantificação da produtividade e dos custos associados ao tratamento de rejeitos, oferecem parâmetros para a formulação de políticas de apoio técnico e financeiro às pequenas unidades recicladoras.

No âmbito das políticas públicas, os resultados ressaltam a necessidade de marcos legais que incentivem a produção e o uso de embalagens sustentáveis, além de regulamentações que obriguem a adoção de ecodesign e a padronização das embalagens, garantindo, assim, a eficiência da reciclagem e a manutenção dos nutrientes técnicos dentro do ciclo da EC. Além disso, incentivos à inovação e ao desenvolvimento de tecnologias de reciclagem, como a reciclagem química, são fundamentais para ampliar as possibilidades de reciclagem de materiais compostos e complexos.

Nesse sentido, para promover o avanço da EC de embalagens plásticas pós-consumo, é essencial que o foco esteja em soluções estruturantes que incentivem o design circular, a padronização das embalagens quanto à composição polimérica e o desenvolvimento de tecnologias de triagem e reciclagem adequadas, especialmente no caso das embalagens mais desafiadoras, como as multicamadas.

Outra linha promissora de investigação envolve a avaliação do ciclo de vida das embalagens plásticas e o potencial de circularidade conforme a tipologia polimérica, o que poderia subsidiar a adoção de critérios técnicos mais robustos no design e na rotulagem dessas embalagens.

Contudo, a pesquisa apresenta limitações quanto à sua capacidade de generalização. Trata-se de um estudo de caso único, com recorte geográfico e setorial bem definido. Embora os achados reflitam desafios comuns no setor de reciclagem de

embalagens plásticas pós-consumo, a diversidade de contextos regionais, estruturas operacionais e políticas locais pode resultar em diferentes dinâmicas e resultados. As variações nas condições locais, como a infraestrutura disponível, a regulamentação regional e a abordagem de coleta e triagem, podem influenciar significativamente a eficácia dos processos de reciclagem e a adoção de práticas circulares. Esses fatores devem ser considerados ao tentar extrapolar os resultados para diferentes contextos, uma vez que as soluções para os desafios da reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo podem variar conforme o local e as condições socioeconômicas.

Recomenda-se que pesquisas futuras ampliem o escopo analítico para diferentes regiões do país, realizando estudos comparativos entre modelos operacionais distintos de reciclagem de embalagens plásticas pós-consumo. Estudos longitudinais que acompanhem a performance dos recicladores, considerando a implementação de políticas públicas e as mudanças no mercado de recicláveis, podem fornecer importantes contribuições para a compreensão das dinâmicas de reciclagem em contextos variados.

Portanto, os achados apresentados podem contribuir para ampliar a compreensão sobre os mecanismos práticos de circularidade das embalagens plásticas pós-consumo, destacando não apenas os limites técnicos e econômicos, mas também os potenciais de inovação e de construção de modelos mais sustentáveis, alinhados com o conceito de economia circular regenerativa proposto por Murray et al. (2017).

REFERÊNCIAS

ABIPLAST – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO. **Perfil 2023 da Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Plásticos**. São Paulo: ABIPLAST, 2023. Disponível em: <<https://www.abiplast.org.br>>. Acesso em: 7 jun. 2025.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 13230: **Embalagens e acondicionamentos plásticos – Identificação e simbologia**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2023, p. 49. Disponível em: https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf>. Acesso em 10/09/2024.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D5033-90: Standart guide for the development of standards relating to the proper use of the recycled plastics**. Filadelfia, 1991, v8.3, p.307-309. Disponível em: <<https://store.astm.org/d5033-00.html>>

BENZI, Liliam. **Consumo per capita de embalagens flexíveis cresce no Brasil em 2023**. Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis – ABIEF, 2024. Disponível em: <<https://www.abief.org.br/flex-tendencias/consumo-per-capita-de-embalagens-plasticas-flexiveis-cresce-no-brasil-em-2023/>> Acesso em 01.10.24

BOCKEN, Nancy M. P. ; PAUW, Ingrid; BAKKER, Conny; GRINTEN, Bram V.D. **Product design and business model strategies for a circular economy**. Journal of Industrial and Production Engineering, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

CAJUELA, Alexandre Rodrigues; Pádua, Silvia Inês Dallavalle. **Estudo Bibliométrico sobre Frameworks para Implementação da Economia Circular nas Organizações**.

RACEF – Revista de administração, contabilidade e Economia da Fundace. v.15, n.2. p. 201-223, 2024. DOI: <https://doi.org/10.13059/racef.v15i2.1166>

CEMPRE. **Compromisso Empresarial para Reciclagem. Indicadores de Reciclagem no Brasil**. São Paulo: CEMPRE, 2023. Disponível em: < <https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/>>. Acesso em 20/01/2025.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 051/2024/P, de 22 de julho de 2024**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2024. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2024/07/DD-051-2024-A-Procedimentos-para-demonstracao-Logistica-Reversa.pdf>>.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **O Setor de Embalagens no Brasil: dados e tendências**. Brasília: CNI, 2022. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br>>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CNI – Confederação Nacional das Indústrias. **Economia Circular na Prática. Guia de Implementação segundo a série ABNT ISO 59000**. Brasília, 2024, p. 50.

COMISSÃO EUROPEIA. **Novo Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular, 2020**. Disponível em: https://www.dgae.gov.pt/gestao-de-ficheiros-externos-dgae-ano-2020/anexo-1_novo-plano-acao-economia-circular-com-2020-98-f-pdf.aspx> Acesso em 01/09/2024

EMF - FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **O Diagrama da Borboleta/ visualizando a economia circular**, 2021. Disponível em: <www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>. Acesso em 10/10/2024.

EMF - FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **Economia circular: princípios e práticas**. Londres: Ellen MacArthur Foundation, 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org>. Acesso em: 10/10/2024

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. **Uma revisão sobre economia circular: a transição esperada para uma interação equilibrada entre sistemas ambientais e econômicos**. Journal of Cleaner Production, 2016, p. 11-32.

GIBBS, Graham. **Análise de dados qualitativos**. Porto Alegre, ed. Artmed, 2009, 198p.

GÓMEZ, Alejandro M. Martín; GONZÁLEZ, Francisco Aguayo; BÁRCENA, Mariano Marcos. ***Smart eco-industrial parks: A circular economy implementation based on industrial metabolism***. Journal Resources, Conservation and Recycling, 2018, p. 58-69.

GREGSON, Nicky; CRANG, Mike; FULLER, Sara; HOLMES, Helen. ***Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU***. Economy and Society, v. 44, 2015, p. 218-243.

HAAS, Willi; KRAUSMANN, Fridolin; WIEDENHOFER, Dominik; HEINZ, Markus. ***How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European union and the world in 2005***. Journal of Industrial Ecology, v. 19, 2015, p. 765-777. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/jiec.12244?getft_integrator=tfo&src=getft_tr&utm_source=tfo>.

HOFMANN, Florian. ***Circular business models: Business approach as driver or obstructer of sustainability transitions?*** Journal of Cleaner Production, v. 224, p. 361–374, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.115>

HOPEWELL, D.; DVORAK, R.; KOSIOR, E. ***Plastics recycling: challenges and opportunities***. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311>>

KALMYKOVA, Yuliya; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonardo. ***Economia Circular – Da revisão de teorias e práticas ao desenvolvimento de ferramentas de implementação***. Journal Resources, Conservation & Recycling, 2018, p.190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>

KANDA, Wisdom; RIO, Pablo D.; HJELM, Olof; BIENKOWSKA, Dżamila. ***A technological innovation systems approach to analyse the roles of intermediaries in eco-innovation***. Journal of Cleaner Production, 2019, v.227, p. 1136-1148.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marco. ***Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions***. Resources, Conservation and Recycling, 2017, v.127, p. 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.

KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. ***Circular Economy: The Concept and its limitations, ecological economics***. Journal of the International Society for Ecological Economics (ISEE), 2018, v. 143, p. 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

LAG-BROTONS, Alfonso J.; PURNELL, Phil. ***Circular economy and the matter of integrated resources***. Journal Science of The Total Environment, v.689, 2019, p. 963-969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.449>.

MELO, L.P.B.; DA SILVA, C.L. **Níveis de implementação da economia circular: micro, meso e macro**. Rev. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 18, n. 53, p. 19-35, seção temática, 2022. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15831>. Acesso em: 01/10/2024.

MICHAELI, Walter. et al. **Plásticos: estrutura, propriedades e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 1995.

MILLAR, Neal; MCLAUGHLIN, Eoin; BÖRGER Tobias. ***The Circular Economy: Swings and Roundabouts?*** Journal Ecological Economics, v. 158, 2019, p.11-19.

MURRAY, Alan. SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. ***The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context***. Journal of Business Ethics, v. 140, 2017, p. 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>.

ONU_a – United Nations. ***Word Population Prospects 2024: Sumary of results, 2024***. Disponível em: <<https://desapublications.un.org/file/20847/download>>. Acesso em: 01/08/2024.

ONU_b – Organização das Nações Unidas – Programa para o Meio Ambiente (PNUMA). **A escassez global de água está se aproximando. Aqui está o que pode ser feito. UNEP, 2024**. Disponível em: < <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens>> Acesso em 01/09/2024

PAULI, Gunter A. **A economia azul: 10 anos, 100 inovações, 100 milhões de empregos**. Taos, NM: Paradigm Publications, 2010, 308p.

PLASTICSEUROPE. **Plastics – the fast Facts 2023. An analysis of European plastics production, demand and waste.** Plastic Europe, 2023. Disponível em: < <https://plasticseurope.org/knowledge-hub/plastics-the-fast-facts-2023/>>

SANDOVAL, Vanessa Prieto. JACA, Carmen; ORMAZABAL; Marta. **Towards a consensus on the circular economy.** Journal of Cleaner Production, 2018, v.179, p. 605-615. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>

SAVIONI, Daniela M.; BOSETTI, Luisa; FORNASARI. **Implementing and Monitoring Circular Business Models: An Analysis of Italian SMEs.** Sustainability, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14010270>

SEHNEM, Simone; PEREIRA, Susana C. F. **Rumo à Economia Circular: Sinergia Existente entre as Definições Conceituais Correlatas e Apropriação para a Literatura Brasileira.** Revista Eletrônica de Ciência Administrativa, v.18, p.35-62, 2019. <https://doi.org/10.21529/RECADM.2019002>

SILVA, J. A. da; LEONARDI, M. L. V. A logística reversa de resíduos plásticos no Brasil: desafios e oportunidades. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, São Paulo, v. 9, n. 1, p. 85–100, 2020. Disponível em: <https://revistas.uninter.com/gestaoesustentabilidade/article/view/3206>. Acesso em: 23 jun. 2025.

STAHEL, Walter R. **Product – Life Institute**, 2013. Disponível em: <<http://www.product-life.org/en>>Acesso em 20/09/2024.

STAKE, Robert E. **Pesquisa qualitativa: estudando como as coisas funcionam.** Porto Alegre. Ed. Penso, 2011.

SUÁREZ- EIROA, Brais; FERNÁNDEZ; Emilio; MÉNDEZ, Gonzalo. **Integration of the circular economy paradigm under the just and safe operating space narrative: Twelve operational principles based on circularity, sustainability and resilience.**

UNEP, United Nations Environment Programme. **From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution.** United Nations Environment Programme, 2021. Disponível em: < <https://www.unep.org/resources/pollution-solution-global-assessment-marine-litter-and-plastic-pollution>> Acesso em 01/05/2025.

VELENTURF, Anne P.M; ARCHER, Sophie A.; GOMES, Helena I.; CHRISTGEN, Beate. Circular Economy and matter of of integrated resources. Science of The Total Environment, Volume 689, 2019, p. 963-969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.449>.

WEETMAN, Catherine. **Economia Circular: Conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa**. São Paulo, ed. Autêntica Business, 2022, 501p.