

LOGÍSTICA REVERSA DE GARRAFAS PET NO ESPÍRITO SANTO: IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE INADEQUADO E ESTRATÉGIAS DE REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE***REVERSE LOGISTICS OF PET BOTTLES IN ESPÍRITO SANTO: ENVIRONMENTAL IMPACTS OF IMPROPER DISPOSAL AND STRATEGIES FOR REUSE AND RECYCLING IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY***Alexandre Peres Nunes¹ Reginalva Silva Soares² Viviane Nunes Tetzlaff Lee³ 

RESUMO: Este trabalho aborda a logística reversa de garrafas PET no Espírito Santo, enfocando os impactos ambientais do descarte inadequado e as estratégias sustentáveis de reutilização e reciclagem. O objetivo geral foi investigar os impactos ambientais decorrentes do descarte de PET no estado e compreender como a logística reversa viabiliza práticas sustentáveis, fortalecendo o desenvolvimento socioeconômico regional. A metodologia qualitativa baseou-se em revisão bibliográfica e estudo de caso na Cooperativa União de Cegos D. Pedro II do Espírito Santo (UNICEP). Em campo, realizaram-se entrevistas estruturadas e observações sobre a coleta e a transformação do PET em vassouras, analisando impactos sociais e desafios operacionais. Os resultados mostram que o descarte incorreto gera contaminação ambiental, enquanto a logística reversa mitiga tais danos. A UNICEP exemplifica essa prática: recebe PET por doações, recicla o material e promove a inclusão social de pessoas com deficiência visual, gerando renda e dignidade. Contudo, o projeto enfrenta limitações como infraestrutura insuficiente e dependência de doações, indicando a necessidade de políticas públicas e parcerias. Conclui-se que a coleta seletiva eficiente e o apoio a cooperativas fortalecem a economia circular e a sustentabilidade local. A pesquisa contribui ao mapear práticas, evidenciar soluções inclusivas e reforçar a responsabilidade compartilhada.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Logística reversa; PET; Reciclagem; Economia circular.

ABSTRACT: This study addresses the reverse logistics of PET bottles in the state of Espírito Santo, focusing on the environmental impacts of improper disposal and sustainable strategies for reuse and recycling. The main objective was to investigate the environmental impacts arising from PET disposal in the state and to understand how reverse logistics can enable sustainable reuse and recycling practices, thereby contributing to environmental preservation and regional socio-economic development. A qualitative methodology was adopted, based on a literature review and a case study involving the D. Pedro II Cooperative of the Blind of Espírito Santo (UNICEP). In the field, structured interviews and observations were conducted to collect data on the

¹ Salesiano – Centro Universitário Católico. Vitória/ES, Brasil. alexandre.vix2016@hotmail.com

² Salesiano – Centro Universitário Católico. Vitória/ES, Brasil. rsoares@salesiano.br

³ Salesiano – Centro Universitário Católico. Vitória/ES, Brasil. viviane.lee@salesiano.br

process of collecting and transforming PET into brooms, as well as on the social impacts and challenges faced by the cooperative. The main results show that incorrect disposal of PET leads to environmental contamination, whereas reverse logistics initiatives mitigate such impacts. The UNICEP case exemplifies a successful practice: the cooperative receives PET through local donations and recycles the material into brooms, reducing plastic waste and promoting the social inclusion of people with visual impairments, providing them with income and dignity. Despite this, the project faces limitations such as insufficient collection infrastructure and reliance on donations, indicating the need for public policies and partnerships to scale up. It is concluded that the integration of efficient selective collection and support for social recycling cooperatives strengthens the circular economy and local sustainability. This research contributes to sustainability, waste management, and the circular economy by mapping practices, highlighting inclusive solutions, and reinforcing shared responsibility.

Keywords: Sustainability; Reverse logistics; PET; Recycling; Circular economy.

1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa embasa o seu estudo no campo da sustentabilidade e da gestão integrada de resíduos sólidos e busca entender os desafios ambientais e socioeconômicos decorrentes do descarte inadequado de garrafas PET no Espírito Santo e investiga a logística reversa como instrumento essencial para a promoção da economia circular e da preservação ambiental. Em âmbito nacional, os dados revelam que cada habitante gera, em média, cerca de 382 kg de resíduos ao ano, dos quais apenas 8,3% são efetivamente reciclados, evidenciando a fragilidade da coleta seletiva no Brasil e as inúmeras oportunidades de reaproveitamento ainda não exploradas (ABREMA, 2024).

Pesquisas mostram que os resíduos das embalagens de PET (polietileno tereftalato) apresentam destaque tanto pelo volume de descarte quanto pela persistência ambiental. De acordo, Haigert (2009), a substituição do PET pelo vidro ocorreu em poucos anos, passando a ser usado como principal material de envase para água e refrigerantes. Os estudos apontam que o descarte inadequado do PET traz prejuízos importantes ao meio ambiente e as áreas urbanas, como o entupimento de bueiros e o agravamento de enchentes, além de representar o desperdício de uma matéria-prima nobre, proveniente do petróleo e altamente reciclável. Pode-se afirmar que a reciclagem do PET é totalmente viável, pois, ele pode ser reprocessado diversas vezes e reinserido de diversas formas, desde novas embalagens até fibras têxteis, reforçando sua relevância para a economia circular (Fagundes; Herculani, 2020).

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR, [s.d.]) entende-se que a logística reversa assume um papel central. Ela é definida como o conjunto de ações destinadas à coleta, triagem e retorno de resíduos ao setor empresarial, permitindo seu reaproveitamento em novos ciclos produtivos contribuindo para prolongar a vida útil dos aterros sanitários, promover o uso eficiente dos recursos naturais empregabilidade e renda. Leite (2017), destaca a logística reversa como sendo um dos pilares estruturantes da sustentabilidade, ao transformar resíduos pós-consumo em matérias-primas secundárias. O autor Barbieri (2016) complementa que estratégias de gestão ambiental preventiva devem priorizar instrumentos que convertam passivos ambientais em oportunidades econômicas, fortalecendo cadeias produtivas sustentáveis.

Apesar dos esforços empreendidos, os desafios estruturais no contexto brasileiro ainda persistem, mesmo que o índice de reciclagem de PET tenha alcançado 53% em 2024 (ABIPET, 2024), indicador superior à média dos plásticos, a maior parte das embalagens pós-consumo ainda depende da atuação de catadores informais, responsáveis por aproximadamente 89% da coleta desse material (ABREMA, 2024). Essa dependência revela a insuficiência de políticas públicas robustas, bem como a necessidade de investir em infraestrutura de coleta seletiva, educação ambiental e integração entre os diferentes agentes da cadeia reversa.

A dimensão ambiental do problema torna-se ainda mais evidente diante dos impactos já observados em ecossistemas brasileiros. Estudos recentes revelam a presença crescente de microplásticos em ambientes marinhos e costeiros, decorrentes, entre outras fontes, da fragmentação de garrafas PET descartadas inadequadamente. Pesquisas da Universidade Federal do Espírito Santo identificaram microplásticos em moluscos da espécie *Perna perna*⁴ e em amostras de água superficial no litoral capixaba, com concentrações de até 41,4 partículas por litro, demonstrando a integração desses contaminantes à cadeia alimentar (UFES, 2022). Resultados semelhantes foram registrados no litoral paulista (Paião, 2023), reforçando a abrangência nacional do problema e os potenciais riscos à saúde humana, já associados a respostas inflamatórias e acúmulo de micropartículas em tecidos (Zaparolli, 2023).

No Espírito Santo, os desafios locais refletem o quadro nacional. O estado produz cerca de 127 mil toneladas de resíduos sólidos por mês, sendo aproximadamente 41.910 toneladas compostas por materiais recicláveis. Contudo, menos de 1% desse volume é efetivamente reciclado, consequência da baixa capilaridade da coleta seletiva municipal e da ausência de sistemas logísticos integrados. Embora o Plano Estadual de Resíduos Sólidos e programas como o "ES Sem Lixão" tenham promovido a eliminação progressiva dos lixões e incentivado a formação de consórcios intermunicipais, ainda há um longo percurso para consolidar práticas de economia circular e fortalecer a cadeia reversa do PET no território capixaba (ES HOJE, 2023).

O arcabouço legal brasileiro, especialmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305/2010), estabelece diretrizes essenciais para esse processo ao introduzir o princípio da responsabilidade compartilhada e tornar obrigatória a implementação de sistemas de logística reversa em diversos setores (Brasil, 2010). Recentemente, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima estabeleceu metas nacionais para a reciclagem de plásticos, incluindo o compromisso de alcançar 50% de recuperação até 2040, reforçando a necessidade de ações estruturantes e investimentos em tecnologias de triagem, reprocessamento e rastreabilidade (MMA, 2025).

Diante desse panorama, emerge o problema central que orienta esta pesquisa: de que forma a logística reversa pode ser efetivamente aplicada ao ciclo de vida das garrafas PET no Espírito Santo, de modo a minimizar os impactos ambientais do descarte inadequado e promover caminhos sustentáveis de reutilização e reciclagem? Para

⁴ *Perna perna* (Linnaeus, 1758) é uma espécie de mexilhão marinho da família Mytilidae, bastante comum no litoral brasileiro. Atende por nomes populares como "mexilhão-pardo" ou simplesmente "mexilhão". Vive fixado em substratos duros, rochas, costões, algas, em zonas entre marés e estuários, é filtrador, e tem relevância ecológica e econômica para comunidades costeiras.

respondê-lo, este estudo tem como objetivo geral investigar os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de PET no Espírito Santo e compreender como a logística reversa pode viabilizar práticas sustentáveis de reutilização e reciclagem, contribuindo simultaneamente para a preservação ambiental e para o fortalecimento socioeconômico regional. Como objetivos específicos, busca-se mapear os principais indicadores de geração e descarte de PET no estado; analisar os impactos ambientais e sociais associados ao manejo inadequado; examinar políticas públicas e iniciativas locais, identificar boas práticas já existentes.

Como parte da abordagem empírica desta pesquisa, foi realizada uma visita técnica à Cooperativa União de Cegos do Espírito Santo (UNICEP), localizada no município de Vila Velha - ES. A visita contemplou a aplicação de uma entrevista estruturada com o administrador da instituição, visando colher informações sobre o histórico da cooperativa, a origem e o volume do PET coletado, os processos de transformação do material em vassouras, os desafios enfrentados no manejo da logística reversa, além dos impactos sociais e das relações institucionais envolvidas. Esses dados primários permitiram compreender, a partir de uma experiência concreta e local, como a logística reversa pode contribuir para a inclusão produtiva, a economia circular e a gestão sustentável de resíduos. As informações obtidas serviram de base para a análise crítica desenvolvida nos capítulos de metodologia e discussão de resultados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Leite (2017), a logística reversa assume papel central nas discussões sobre sustentabilidade, uma vez que conecta o fim da vida útil dos produtos com a redução do consumo de recursos naturais e a mitigação de impactos ambientais. No Brasil, ela é entendida como um conjunto de procedimentos destinado à coleta e devolução de resíduos ao setor produtivo, permitindo seu reaproveitamento em processos fabris ou sua destinação final ambientalmente adequada. Ao se institucionalizar pela Lei nº 12.305/2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Segundo a Agenda 2030 da ONU (2015), as dimensões ambiental, social e econômica do desenvolvimento sustentável são “integradas e indivisíveis”, reforçando que práticas como a reciclagem e a reutilização de produtos (como garrafas PET) devem avançar de forma coordenada. No Brasil, esse princípio está incorporado na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que consagrou a responsabilidade compartilhada entre governo, produtores, comerciantes e consumidores para reduzir, reutilizar e reciclar resíduos (Brasil, 2010). Autores brasileiros destacados ressaltam que a logística reversa deixou de ser mera gestão de resíduos e tornou-se uma “ferramenta estratégica” para a competitividade e inovação empresarial, ao mesmo tempo em que viabiliza vantagens ambientais (Leite, 2017).

2.1 SUSTENTABILIDADE E LOGÍSTICA REVERSA

2.1.1 Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável

O Relatório *Nosso Futuro Comum*, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e publicado em 1987 sob a coordenação de Gro Harlem Brundtland, definiu desenvolvimento sustentável como aquele que “atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de

satisfazerem suas próprias necessidades”. Esse conceito enfatiza a necessidade de equilíbrio entre crescimento econômico, justiça social e preservação ambiental, tornando-se um marco teórico para políticas públicas e estratégias empresariais que buscam integrar essas dimensões.

Segundo Souza (2024), o Estado brasileiro incorporou esse paradigma ao formular políticas ambientais e instituiu o desenvolvimento sustentável como diretriz orientadora na elaboração e execução de programas voltados à proteção ambiental. A autora destaca que esse modelo se firmou como fundamento normativo, especialmente após a promulgação de legislações como a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Nesse sentido, o conceito de sustentabilidade não apenas norteia ações governamentais, mas também promove transformações nas práticas empresariais ao induzir novos modelos de produção e consumo baseados na responsabilidade ambiental e social.

Em 2015, a ONU propôs uma agenda global com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a serem alcançados até 2030. Esses objetivos visam erradicar a pobreza, promover o desenvolvimento econômico inclusivo e proteger o meio ambiente. Segundo a ONU, os ODS são “integrados e indivisíveis”, o que significa que avanços em uma área dependem do progresso nas demais (ONU, 2015). Dessa forma, a Agenda 2030 reforça a necessidade de ações coordenadas que contemplem de forma equilibrada as dimensões social, econômica e ambiental.

No âmbito brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305/2010) exemplifica a aplicação prática desses princípios sustentáveis. Essa lei institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, exigindo que todos os elos da cadeia produtiva, fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e poder público, cooperem para reduzir, reutilizar e reciclar os resíduos gerados (Brasil, 2010).

Como parte dessa política, foi institucionalizada a logística reversa, por meio da qual fabricantes e importadores devem estruturar sistemas para recolher e dar destinação adequada aos resíduos pós-consumo (Brasil, 2010). Em síntese, esse marco legal reforça o consumo responsável, exigindo que os produtos sejam projetados para durarem mais tempo e para poderem ser reciclados, além de promover a inclusão social de catadores de materiais recicláveis e cooperativas de reciclagem.

Dentro dessa perspectiva, o consumo consciente ganha destaque como prática essencial. Recomenda-se a preferência por produtos duráveis, de baixo consumo energético e passíveis de reciclagem, bem como a adoção de uma visão de gestão completa do ciclo de vida do produto. Essa abordagem implica considerar a redução de impactos ambientais em cada etapa, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Por exemplo, planejar o descarte adequado e promover a coleta seletiva são estratégias que estendem a vida útil dos recursos e evitam a geração de novos resíduos, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento sustentável (Trevisanuto, 2019).

2.1.2 Conceito e evolução da logística reversa

A logística reversa surgiu para responder aos problemas decorrentes do descarte de resíduos e ao reconhecimento de que esse fluxo inverso de materiais gera valor. Na PNRS (Lei 12.305/2010), ela é definida como “instrumento de desenvolvimento

econômico e social” que viabiliza a coleta e a restituição de resíduos ao setor empresarial para reaproveitamento em ciclos produtivos ou outra destinação final adequada. Em termos evolutivos, enquanto nos anos 1970–1980 a logística reversa ainda era pouco estudada, a partir da década de 1990 ela ganhou força como campo de pesquisa e prática empresarial (Couto; Lange, 2017).

Com a PNRS (2010), a logística reversa tornou-se obrigatória para diversos setores, especialmente aqueles cujos resíduos apresentam risco ambiental, oficializando acordos setoriais entre governo e indústrias. Estudos nacionais confirmam esse movimento, Couto e Lange (2017) analisaram os sistemas de logística reversa no Brasil e identificaram desafios políticos, operacionais e sociais para sua implantação, enfatizando a importância de políticas públicas e da participação cidadã.

Em resumo, a logística reversa evoluiu de iniciativas empresariais pontuais para um componente essencial da economia circular brasileira, impulsionada por legislação ambiental (Lei 12.305/2010) e por autores como Leite (2017), que destaca a logística reversa como fator de sustentabilidade e competitividade empresarial.

2.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DO DESCARTE DE GARRAFAS PET

2.2.1 Características do material PET

O politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico derivado do petróleo, amplamente reconhecido por sua leveza, transparência e resistência. Essas propriedades conferem ao material uma durabilidade ambiental significativa, tornando-o um dos principais resíduos plásticos persistentes no meio ambiente. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2024), o PET apresenta alta estabilidade química e pode permanecer no ambiente por séculos antes de se decompor totalmente.

Em complemento, estudos da Fundação Oswaldo Cruz indicam que uma garrafa de plástico PET pode levar entre 450 e 500 anos para se decompor em condições naturais (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, [s.d.]). Em virtude dessa persistência, o PET não desaparece, mas fragmenta-se em partículas menores, contribuindo para a formação de microplásticos e agravando a poluição ambiental de longo prazo (Andrade, 2022). Pesquisadores do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente reforçam, inclusive, o caráter quase “infinito” desse material, uma vez que, mesmo após se decompor, ele permanece no ambiente na forma de micro e nanoplásticos, ingressando nos ecossistemas e cadeias alimentares (PNUMA, 2022).

Importante destacar que o politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico amplamente utilizado em embalagens devido à sua leveza, resistência e transparência. Uma de suas principais vantagens é a alta reciclabilidade, sendo que, sua estrutura permite múltiplos ciclos de reaproveitamento com preservação das propriedades físico-químicas originais, desde que o material esteja devidamente limpo e separado (Joseph *et al.*, 2024). No entanto, quando descartado de forma inadequada, o PET acumula-se em solos e aterros sanitários, alterando suas características físicas, como compactação e redução da porosidade, o que compromete a infiltração da água e a aeração do solo (Li *et al.*, 2025). Esse acúmulo também propicia a liberação lenta de aditivos industriais, como metais e catalisadores (ex.: antimônio), que podem contaminar os solos e alcançar lençóis freáticos, afetando negativamente a microbiota e a fertilidade (Allafi *et al.*, 2020; Lozano *et al.*, 2024). Em

consequência, há riscos ecológicos expressivos para os ecossistemas terrestres e aquáticos, com potenciais impactos à saúde humana.

2.2.2 Contaminação por microplásticos

Com o tempo, as garrafas de politereftalato de etileno (PET) expostas às intempéries fragmentam-se em partículas menores que 5 mm, originando os chamados microplásticos. Esses fragmentos têm sido identificados em praticamente todos os compartimentos ambientais, desde a atmosfera terrestre até as profundezas oceânicas (WWF, 2021). Nos ecossistemas aquáticos, os microplásticos são ingeridos por peixes, aves marinhas e organismos filtradores, provocando obstruções físicas, bioacumulação de substâncias tóxicas e alterações comportamentais, como redução da alimentação e comprometimento da reprodução (WWF, 2021).

No ambiente terrestre, estudos indicam que os microplásticos podem modificar a estrutura física do solo, reduzir sua capacidade de retenção de água e afetar a atividade de microrganismos essenciais aos ciclos biogeoquímicos (IBAMA, 2023; Corradini *et al.*, 2019). Do ponto de vista da saúde humana, pesquisas recentes revelam a presença de partículas de PET e outros polímeros microplásticos no sangue, pulmões e até na placenta humana, sugerindo potenciais respostas inflamatórias e efeitos ainda pouco compreendidos (Ragusa *et al.*, 2021; Jenner *et al.*, 2022). Em síntese, a fragmentação do PET contribui para a intensificação da poluição plástica em água, solo e ar, comprometendo a integridade dos ecossistemas e representando riscos cumulativos à saúde humana e ambiental.

2.2.3 Cenário nacional e capixaba de resíduos de PET

De acordo com SINTAC (2025), o politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico amplamente utilizado em embalagens e plenamente reciclável, pois sua estrutura química permite fundi-lo e remoldá-lo repetidas vezes sem perda significativa de características físico-químicas. Em outras palavras, o PET é plenamente reciclável, de modo que o material reciclado (rPET) mantém propriedades comparáveis às do PET virgem (SINTAC, 2025).

Contudo, o descarte inadequado de grandes volumes de PET leva ao acúmulo desse plástico no solo e em aterros, alterando suas propriedades físico-químicas. O acúmulo de fragmentos de PET pode compactar a estrutura do solo e obstruir os poros, reduzindo a infiltração de água e dificultando sua aeração (Rathikannu *et al.*, 2025). Além disso, muitos aditivos e subprodutos tóxicos presentes no PET, como retardantes de chama, ftalatos e bisfenol A, podem ser liberados gradualmente para o meio ambiente, prejudicando raízes e organismos do solo (Rathikannu *et al.*, 2025).

Esses efeitos, ao longo do tempo, degradam a qualidade do solo e diminuem sua fertilidade. De forma similar, a presença de microplásticos e compostos associados contamina fontes de água; o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2023), observa que tal poluição plástica “sufoca a fauna marinha, danifica o solo e envenena as águas subterrâneas”. Em síntese, o acúmulo descontrolado de PET e microplásticos impacta negativamente a fertilidade do solo, a qualidade da água e aumenta o risco de contaminação de aquíferos, com consequências adversas para a fauna e os ecossistemas terrestres e aquáticos (Rathikannu *et al.*, 2025).

No Espírito Santo, o cenário local reflete os desafios observados no âmbito nacional, embora haja esforços concretos para a estruturação da logística reversa. O programa estadual “ES Sem Lixão”, criado pela Lei Estadual nº 9.264/2009 e alinhado à Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), consolidou consórcios intermunicipais como o CONDOESTE, CONORTE e CONSUL, responsáveis pela implantação de aterros sanitários regionalizados e pela erradicação progressiva dos lixões (GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, 2023).

Em nível municipal, algumas cidades capixabas vêm se destacando na ampliação da coleta seletiva. Em Vitória, por exemplo, o sistema é operado em parceria com as cooperativas Ascamare e Amariv, que realizam a triagem e comercialização de resíduos recicláveis, recolhendo cerca de 180 toneladas por mês de materiais, predominantemente papel e papelão, e envolvendo aproximadamente 53 catadores formalizados (PREFEITURA DE VITÓRIA, 2024). Apesar desses avanços, muitos municípios do interior ainda enfrentam limitações logísticas e de infraestrutura, o que compromete a efetividade do sistema de reciclagem.

Desde 2023, o estado implementou o Sistema Estadual de Manifesto de Transporte de Resíduos – MTR-ES, uma plataforma eletrônica que permite o rastreamento em tempo real dos resíduos sólidos, desde sua geração até a destinação final. Essa ferramenta, sob gestão do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA, reforça o controle ambiental e a transparência nas etapas da logística reversa (IEMA, 2023).

Em síntese, embora o Espírito Santo avance na consolidação de uma política estadual de gestão integrada de resíduos, os desafios persistem na universalização da coleta seletiva, no fortalecimento das cooperativas e na educação ambiental da população. A consolidação de uma economia circular capixaba depende, portanto, da articulação entre gestão pública eficiente, engajamento social e inovação tecnológica, fatores essenciais para transformar o descarte de PET em oportunidade de sustentabilidade e inclusão socioeconômica.

2.3 POLÍTICAS PÚBLICAS E MARCOS REGULATÓRIOS

2.3.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010)

A gestão de resíduos no Brasil está estruturada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010 (Brasil, 2010). A PNRS introduziu o conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, atribuindo obrigações a fabricantes, distribuidores, comerciantes, consumidores e poder público para coletar e destinar corretamente materiais pós-consumo. Em especial para o PET, a lei tornou obrigatória a implantação de sistemas de logística reversa, baseados em metas de recuperação de materiais recicláveis. Assim, a logística reversa deixou de ser voluntária e passou a ser um dever legal, integrado às políticas de desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010).

De acordo com a ABIPET (2025), a PNRS posicionou a logística reversa como instrumento estratégico de sustentabilidade e economia circular, exigindo que empresas desenhem produtos recicláveis, invistam em educação ambiental e infraestrutura de reciclagem, e que o poder público operacionalize a coleta seletiva. Assim, a logística reversa deixou de ser uma ação voluntária e passou a ser um dever

legal, integrando-se às políticas públicas de resíduos sólidos e ao desenvolvimento sustentável.

Recentemente, o governo federal regulamentou o artigo 33 da PNRS por meio do Decreto nº 11.413/2023, criando mecanismos econômicos inéditos para incentivar a reciclagem de embalagens (Brasil, 2023). Entre as medidas, destacam-se três tipos de certificados de crédito, sendo o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação da Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura. Este último estimula investimentos em infraestrutura de reciclagem, como novas usinas, centros de triagem e tecnologias inovadoras, contabilizando esses aportes como créditos adicionais de logística reversa (Horvatin, 2023).

Na prática, as indústrias que financiarem usinas de reciclagem, centros de triagem ou tecnologias inovadoras poderão receber esses créditos proporcionais ao volume de material processado. Os objetivos declarados do decreto incluem ampliar a infraestrutura logística, promover a economia circular e garantir ganhos sociais (Horvatin, 2023).

2.3.2 Planos e iniciativas estaduais e municipais no Espírito Santo

No âmbito estadual, o Espírito Santo tem implementado instrumentos legais e operacionais que complementam a PNRS. O Plano Estadual de Resíduos Sólidos (2019) estabelece diretrizes para a gestão integrada de resíduos, enquanto programas como “ES Sem Lixão” estruturaram consórcios regionais (CONDOESTE, CONORTE e CONSUL) para a construção de aterros sanitários adequados (GOVERNO DO ESPÍRITO SANTO, 2023). Além disso, o Sistema Estadual MTR-ES permite rastrear eletronicamente a movimentação de resíduos sólidos, fortalecendo o monitoramento e a transparência da logística reversa (IEMA, 2023).

Em síntese, a legislação federal e estadual cria um arcabouço normativo robusto, articulando responsabilidade legal, incentivos econômicos e monitoramento tecnológico, essenciais para a efetividade da logística reversa do PET. Apesar dos avanços, a implementação prática ainda enfrenta desafios estruturais e sociais, evidenciando a necessidade de integração contínua entre poder público, iniciativa privada e sociedade civil.

2.3.3 Limitações e desafios na aplicação da legislação

Apesar do arcabouço normativo robusto e das iniciativas estruturadas, a implementação efetiva das políticas de resíduos no Espírito Santo enfrenta barreiras estruturais e sociais. No estado (como em todo o país), a rede de coleta seletiva ainda é incompleta, com menos de 15% da população urbana tendo acesso regular à coleta seletiva porta a porta, e apenas cerca de 60% dos municípios com algum programa de coleta (ABREMA, 2024). Essa infraestrutura precária, com poucos centros de triagem e falta de caminhões apropriados – limita a quantidade de recicláveis coletados. A ABIPET (2025) confirma que a baixa eficiência na coleta seletiva cobre apenas uma parcela restrita dos centros urbanos, prejudicando o suprimento de matéria-prima para reciclagem.

Estudos também confirmam que as recicladoras de PET operam com alta ociosidade média, de aproximadamente 23%, podendo chegar a picos de 40% em algumas

regiões, devido à escassez de material coletado (Saneamento Ambiental, 2025). Essa lacuna entre capacidade instalada e insumos ocorre justamente pela falta de coleta seletiva robusta. Segundo a PETplanet (2025), o presidente da ABI PET, Auri Marçon, alerta que a cadeia de reciclagem está operando no limite por não receber matéria-prima suficiente, enquanto muitos resíduos plásticos continuam tendo destinação inadequada.

Grande parte da triagem e da coleta de recicláveis depende dos catadores de materiais recicláveis, que muitas vezes atuam de forma informal e sem apoio estruturado. Estima-se que cerca de 89% a 90% das garrafas PET pós-consumo no Brasil são coletadas por catadores individuais ou organizados (ABREMA, 2024). Essa dependência da mão de obra informal, geralmente sem formalização, proteção jurídica ou assistência técnica, dificulta o planejamento estratégico do setor e a expansão sustentável da logística reversa. A formalização e o fortalecimento das cooperativas de catadores, com remuneração adequada e suporte institucional, são considerados passos fundamentais para integração efetiva desses trabalhadores à cadeia de reciclagem.

A baixa adesão da população à separação e destinação correta dos resíduos compromete a eficiência de todo o sistema. A falta de educação ambiental e de incentivos ou fiscalização constitui gargalo crítico para a logística reversa (ABREMA, 2024). Mesmo os cidadãos conscientes enfrentam dificuldades se não houver serviço estruturado de coleta seletiva. Dessa forma, muitos ainda não aderem à separação do lixo, o que reduz o volume de materiais recicláveis coletados e aumenta o desperdício de recursos. Autoridades ambientais destacam a necessidade de campanhas educativas e incentivos públicos para reverter esse cenário, investindo em ecopontos, coleta diferenciada e programas de conscientização (ABREMA, 2024).

O modelo previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos fundamenta-se na responsabilidade compartilhada entre consumidor, setor empresarial e poder público. Tanto a ABREMA quanto órgãos estaduais enfatizam que apenas por meio da integração entre essas esferas será possível consolidar a economia circular e reduzir os impactos ambientais do descarte inadequado (ABREMA, 2024). Essa integração exige investimentos em infraestrutura, apoio às cooperativas de reciclagem e educação ambiental, além do cumprimento das metas do Planares, que prevê reciclar 30% das embalagens até 2025 e 50% até 2040 (Saneamento Ambiental, 2025).

2.3.4 Estratégias de reutilização e reciclagem de garrafas PET

A reciclagem e a reutilização de garrafas PET são estratégias centrais para mitigar os impactos ambientais do descarte inadequado e fomentar a economia circular. Conforme a QUALIFEST (2024), o PET é totalmente reciclável, podendo ser reaproveitado diversas vezes sem perda significativa de suas propriedades quando submetido a processos adequados de reciclagem, como limpeza, regranulação e descontaminação para uso alimentício.

Segundo o 13º Censo da Reciclagem do PET no Brasil, divulgado pela ABI PET (2025), foram recicladas aproximadamente 410 mil toneladas de embalagens PET em 2024, um crescimento de 14% em relação a 2022. Esse volume corresponde a cerca de 56% das embalagens PET pós-consumo comercializadas no país, o que representa uma das mais altas taxas de reciclagem entre os plásticos (Saneamento

Ambiental, 2025). Isso demonstra o alto potencial de circularidade do material, desde que haja coleta e processamento eficazes.

Ademais, o PET continua sendo o plástico mais reciclado no país, superando amplamente outras resinas. O setor de reciclagem de PET movimentou cerca de R\$ 5,66 bilhões em 2024, gerando renda e milhares de empregos ao longo da cadeia produtiva, especialmente entre os catadores e cooperativas. Esses dados reforçam a importância de investir continuamente em estratégias de reutilização e reciclagem de garrafas PET como meio eficaz de reduzir os danos ambientais e fortalecer a economia circular no Brasil (MOVIMENTO ECONÔMICO, 2025).

2.3.5 Rotas de reciclagem

Existem diferentes caminhos tecnológicos para reciclar o PET, com destaque para as abordagens mecânica, química e o chamado *upcycling* criativo:

- a) **Reciclagem mecânica:** consiste em triturar, lavar e extrusar o PET pós-consumo em grânulos para fabricar novas embalagens ou fibras têxteis (ABIPET, 2025). No Brasil, cerca de 37% do PET reciclado retorna à produção de novas garrafas e 24% é destinado ao setor têxtil (fibras para roupas, tapetes, etc.). A reciclagem mecânica é a rota mais consolidada e de menor custo energético, embora o material perca gradualmente pureza e propriedades a cada ciclo adicional.
- b) **Reciclagem química:** envolve processos como glicólise, hidrólise e pirólise, que decompõem o PET em seus monômeros básicos, permitindo produzir PET virgem ou outros materiais de alto valor (ABIPET, 2025). Essa via é promissora para resíduos mistos ou degradados que não são adequados à reciclagem mecânica, mas ainda enfrenta desafios de viabilidade econômica e energética.
- c) **Upcycling (valorização):** refere-se à transformação criativa do PET em produtos de maior valor agregado, sem necessariamente retorná-lo ao processo tradicional de reciclagem. Exemplos incluem fabricação de biofilamentos para impressão 3D, fibras especiais para moda sustentável ou agregados de construção, como blocos ecológicos e pavimentos intertravados (ABIPET, 2025). O *upcycling* estende a vida útil do material e gera novas oportunidades de negócio, contribuindo para uma economia mais circular.

2.3.6 Benefícios ambientais e sociais da reciclagem

A reciclagem de PET traz ganhos ambientais e sociais significativos. Ambientalmente, ao substituir parte do PET virgem, reduz-se a extração de petróleo e a emissão de gases de efeito estufa associados à produção de plástico: estima-se que a reciclagem de 1 kg de PET evite até 70–80% do consumo energético em comparação ao processo convencional (ABIPET, 2025). Isso significa uma grande economia de recursos e menor pegada de carbono.

Socialmente, a cadeia do PET reciclado gera muitos empregos diretos e indiretos para catadores, cooperativas e indústrias de reciclagem. Conforme relatado pela ABIPET (2025), cerca de 40% do valor agregado na cadeia de reciclagem de PET no Brasil permanece com os catadores e cooperativas, o que representa inclusão socioeconômica de centenas de famílias. Em resumo, a reciclagem de PET

simultaneamente diminui a poluição plástica, conserva recursos naturais e promove o desenvolvimento de comunidades carentes.

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como pesquisa bibliográfica de natureza teórica, com abordagem qualitativa e objetivos exploratórios e descritivos. Conforme Gil (2002), a pesquisa bibliográfica “é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”.

A abordagem qualitativa foi escolhida porque se busca compreender, de forma interpretativa, a complexidade dos impactos ambientais e das estratégias de reutilização (valores, crenças, práticas) relacionados às garrafas PET. Nesse sentido, autores como Minayo (2009) e Creswell (2007) apontam que a pesquisa qualitativa trabalha com “o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes” sendo voltada à compreensão da complexidade dos fenômenos sociais.

No que diz respeito à classificação, a investigação apresenta caráter exploratório e descritivo. A pesquisa exploratória, segundo Gil (2008), tem por finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema, enquanto a pesquisa descritiva visa descrever características de determinados fenômenos. Inicialmente, buscou-se a literatura existente sobre o tema, com o objetivo de conceituar os principais marcos teóricos e descrever de forma sistematizada as práticas atuais de descarte de PET e os modelos de logística reversa implementados no Brasil, com ênfase no estado do Espírito Santo.

A pesquisa também se caracteriza por estudo de caso de natureza qualitativa e caráter exploratório, como forma de aproximar a teoria da realidade empírica local. Nesse sentido, foi realizada uma visita técnica à Cooperativa União de Cegos do Espírito Santo (UNICEP), situada no município de Vila Velha – ES. Durante a visita, foi aplicada uma entrevista estruturada com o representante da cooperativa, com o intuito de coletar dados primários relacionados ao histórico institucional, à origem e ao volume das garrafas PET coletadas, às etapas de transformação do material em vassouras, aos materiais complementares utilizados, às parcerias institucionais, aos impactos sociais e aos principais desafios enfrentados na operação da logística reversa.

O roteiro da entrevista estruturada foi elaborado com base nas diretrizes teóricas da Política Nacional de Resíduos Sólidos e nos princípios da economia circular, dividindo-se em seções destinadas a captar: (a) os fluxos operacionais de entrada de insumos e produção; (b) a dimensão socioeconômica e a inclusão dos cooperados; e (c) os gargalos institucionais e infraestruturais enfrentados pela organização. Para o tratamento e a interpretação dos dados coletados em campo, utilizou-se a análise de conteúdo temático, organizando-se e categorizando-se os achados nos três eixos analíticos apresentados na seção de Resultados e Discussão: (i) origem, volume e transformação das garrafas PET; (ii) impacto social e inclusão produtiva; e (iii) limitações operacionais e institucionais. A observação desse caso permitiu compreender como práticas concretas de reaproveitamento de resíduos podem fomentar a economia circular, gerar inclusão produtiva e fortalecer cadeias sustentáveis de reciclagem no contexto capixaba.

A presente pesquisa permitiu extrair informações relevantes sobre os impactos ambientais do PET no meio ambiente, bem como identificar práticas de logística reversa e estratégias de reutilização e reciclagem já adotadas no Brasil e no Espírito Santo. A análise buscou, ainda, mapear os principais indicadores de geração e descarte de PET no estado, investigar os impactos ambientais e sociais do descarte inadequado em municípios capixabas, analisar políticas públicas e iniciativas locais voltadas à logística reversa, identificar experiências bem-sucedidas já em curso no Espírito Santo e avaliar a viabilidade de fortalecimento da cadeia logística reversa do PET, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da entrevista com o administrador da Cooperativa União de Cegos – UNICEP, foi possível observar a cooperativa como uma prática concreta e bem-sucedida de logística reversa de PET no Espírito Santo. A UNICEP atua há anos no município de Vila Velha (ES) com a reciclagem e reutilização de garrafas PET, tendo como objetivo social garantir inclusão e geração de renda para pessoas com deficiência visual, e como objetivo ambiental contribuir para a redução de resíduos plásticos.

A entrevista foi conduzida no dia 19 de novembro de 2025 com o administrador da Cooperativa. Até o momento, a coleta de dados envolve um único informante, cuja experiência representa a realidade operacional da cooperativa naquele momento. A partir das suas respostas, organizou-se os resultados em três eixos: (i) origem, volume e transformação das garrafas PET; (ii) impacto social e inclusão; (iii) dificuldades operacionais e institucionais.

4.1 ORIGEM, VOLUME E TRANSFORMAÇÃO DAS GARRAFAS PET

De acordo com o entrevistado, a UNICEP obtém a maior parte das garrafas PET por meio de doações realizadas por moradores de Vila Velha e de pontos de coleta instituídos no município: *“as doações vêm de nossa comunidade, de pessoas que deixam garrafas nos pontos de coleta de Vila Velha”*. Apesar desse fluxo, a oferta nem sempre é suficiente para atender à demanda interna da cooperativa, ele relatou que, em média, a cooperativa recebe cerca de 10.000 garrafas por mês, embora o volume ideal para atender plenamente a demanda seria de 20.000 garrafas mensais. Esse desequilíbrio entre oferta e demanda evidencia uma fragilidade estrutural na cadeia de insumos recicláveis, o que corrobora os argumentos teóricos que apontam a necessidade de uma rede de coleta seletiva organizada e estável para garantir a viabilidade de iniciativas de reciclagem social.

Com as garrafas PET recebidas, a UNICEP adota um processo artesanal de transformação. As garrafas passam por um processo de Filetagem, ou seja, são “desfiadas”, conforme apresentado na imagem 1. A filetagem converte as garrafas em fios de PET, que depois são costurados manualmente para confeccionar vassouras. A produção mensal média informada pelo entrevistado é de aproximadamente 300 vassouras por mês. Esse método operacional se aproxima da rota de reciclagem mecânica descrita na literatura, ao mesmo tempo em que evidencia uma valorização local dos resíduos, visto que a matéria-prima utilizada provém diretamente da comunidade na qual a cooperativa está inserida.

Imagem 1 - Processo de filetagem



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

No entanto, o entrevistado destaca que a limitação no volume de insumos recicláveis, provocada pela insuficiente captação de PET, compromete a possibilidade de ampliação da produção. A cooperativa já vivenciou períodos em que não foi possível manter o ritmo habitual de produção por falta de matéria-prima. Dessa forma, permanece evidente que o sucesso de projetos de reciclagem social como o da UNICEP depende fortemente não apenas do empenho da cooperativa, mas da existência de uma logística reversa estruturada, apoiada por coleta seletiva eficaz, parcerias institucionais e engajamento comunitário, conforme apontam os referenciais teóricos. Ficou claro, portanto, que a garantia de fluxo constante de PET pós-consumo é condição indispensável para a sustentabilidade da iniciativa.

Imagem 2 – Estoque de fios de PET



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.2 IMPACTO SOCIAL E INCLUSÃO PRODUTIVA

Um dos achados mais significativos da entrevista é o impacto social do trabalho realizado pela UNICEP. A cooperativa não apenas gera produtos a partir do PET, mas também oferece uma atividade profissional e inclusiva para pessoas com deficiência visual, promovendo autonomia, renda e integração social. O entrevistado enfatizou que o projeto tem um claro propósito de inclusão: *“não é só reciclar garrafas, é dar dignidade e trabalho para cegos”*.

Imagem 3 – Vassouras domésticas de garrafas PET



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Essa dimensão social dialoga diretamente com a literatura sobre economia solidária, que destaca como iniciativas de reciclagem podem, ao mesmo tempo, mitigar impactos ambientais e fortalecer comunidades vulneráveis (Silva, 2017). A UNICEP, ao transformar um resíduo (garrafa PET) em um bem valorizado economicamente (vassoura), cria uma cadeia de valor social que reforça a economia solidária.

Além disso, o entrevistado mencionou parceria com iniciativas públicas e privadas. Embora não tenha citadas parcerias formais de grande escala, há esforços para consolidar redes de doadores e pontos de coleta. Isso sugere um caminho para reforçar a responsabilidade compartilhada, previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em que atores diversos (cooperativa, poder público, sociedade) devem colaborar para a efetividade da logística reversa.

4.3 LIMITAÇÕES OPERACIONAIS E INSTITUCIONAIS

O entrevistado também abordou diversos desafios enfrentados pela UNICEP. Primeiramente, a infraestrutura de coleta é limitada: nem sempre há transporte adequado ou apoio logístico para recolher o PET em grandes quantidades, o que limita a escala de produção. Essa limitação confirma a tese de que, sem uma rede de coleta seletiva consolidada, iniciativas de reciclagem local têm dificuldade para sustentar operações mais robustas, conforme discutido por especialistas em gestão de resíduos.

Há também questões relacionadas à formalização institucional. Apesar do caráter cooperativo, a UNICEP depende de doativos e enfrenta instabilidade na arrecadação, o que compromete a previsibilidade dos recursos. Essa fragilidade evidencia a necessidade de parcerias mais estruturadas e políticas públicas que reconheçam e apoiem cooperativas sociais que trabalham com reciclagem, reforçando as diretrizes teóricas de responsabilidade compartilhada da PNRS.

Outro ponto é a qualificação técnica, pois, embora os cooperados desenvolvam habilidade artesanal para produzir vassouras, a replicação de processos mais eficientes ou o aumento da capacidade produtiva esbarra na limitação de recursos e capacitação. Isso dificulta não só a expansão da produção, mas também a melhoria

de qualidade e produtividade, um obstáculo que também aparece em estudos sobre cooperativismo social e reciclagem. Segundo Pérez Menafrá (2015), muitas cooperativas de catadores enfrentam “desqualificação social da categoria, ausência de proteções sociais e baixa retribuição econômica” em seu cotidiano de trabalho.

Por fim, apesar dos ganhos socioambientais, a UNICEP enfrenta desafios de sustentabilidade econômica. A produção de vassouras a partir de PET depende de volumes consideráveis para ser viável, assim, sem ampliação da coleta e ampliação de mercados para os produtos reciclados, a lucratividade e o impacto social podem permanecer limitados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho retomou a temática da logística reversa de garrafas PET no contexto do Espírito Santo, centrando-se no problema de pesquisa relativo a como esse mecanismo pode ser inserido no ciclo de vida dessas embalagens para minimizar impactos ambientais e estimular práticas sustentáveis. Partiu-se do reconhecimento de que o descarte inadequado de PET acarreta diversos prejuízos ao meio ambiente, fato que evidencia a urgência de estratégias de reutilização e reciclagem no âmbito regional. Sob essa perspectiva, investigou-se, com base em indicadores regionais e em estudo de caso específico, de que maneira a articulação entre cooperativas de reciclagem (como a UNICEP) e as instâncias públicas e privadas pode contribuir para a mitigação dos impactos ambientais e para a promoção de um modelo de economia circular. Essas questões orientaram as análises ao longo do trabalho, reafirmando seu caráter aplicado à sustentabilidade e à gestão de resíduos sólidos.

Os principais resultados apontaram que a destinação inadequada de garrafas PET gera impactos negativos diversos, como contaminação do solo e de recursos hídricos, agravando o problema da poluição plástica nos ecossistemas locais. Os dados levantados sobre coleta seletiva e reciclagem de PET no Espírito Santo revelaram que apenas uma fração do material consumido é efetivamente recuperada, indicando lacunas na infraestrutura de coleta e triagem. O estudo de caso da cooperativa UNICEP evidenciou a relevância das iniciativas de base local: verificou-se que a organização de catadores que integrou a UNICEP foi capaz de coletar, selecionar e encaminhar parte significativa do PET descartado, convertendo-o em insumo reciclável. Esse processo não apenas reduz a quantidade de resíduos no ambiente, mas também promove a inclusão produtiva dos cooperados, uma vez que gera renda e aproxima os catadores dos circuitos econômicos da reciclagem.

Em termos gerais, os objetivos propostos foram atingidos de forma satisfatória. O mapeamento de indicadores possibilitou a quantificação dos fluxos de PET e a compreensão abrangente da cadeia reversa no estado. A análise dos impactos ambientais reforçou a necessidade de intervenções integradas para reduzir a poluição causada pelo descarte indevido. Quanto às políticas públicas, constatou-se que, embora existam diretrizes legais e programas de incentivo à reciclagem, ainda há desafios para sua efetiva implementação nos âmbitos municipal e estadual. Finalmente, a avaliação da viabilidade da cadeia reversa, baseada principalmente no estudo de caso, indicou que, apesar dos entraves logísticos e econômicos, iniciativas cooperativas como a UNICEP demonstram potencial de sustentabilidade, desde que recebam suporte institucional adequado.

Espera-se que as contribuições deste estudo sirvam de subsídio aos gestores, pesquisadores e à sociedade civil, incentivando a continuidade de iniciativas voltadas ao aprimoramento da gestão de resíduos sólidos. Dessa forma, o aprofundamento de novas parcerias e a ampliação de experiências semelhantes podem consolidar avanços significativos na construção de um futuro mais sustentável para o estado.

REFERÊNCIAS

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. 13º Censo da Reciclagem de PET no Brasil. 2024. Disponível em: <https://abipet.org.br/wp-content/uploads/2025/05/13th-PET-Recycling-Census-in-Brazil.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ABIPET. Associação Brasileira da Indústria do PET. Decreto da Logística Reversa do Plástico é publicado e setor do PET sai na frente. 2025. Disponível em: <https://abipet.org.br/2025/11/03/decreto-da-logistica-reversa-do-plastico-e-publicado-e-setor-do-pet-sai-na-frente/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Falta de educação e coleta seletiva dificultam reaproveitamento de materiais. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2024/06/17/falta-de-educacao-e-coleta-seletiva-dificultam-reaproveitamento-de-materiais-apos-o-consumo/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2024. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/download/96475/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ABREMA. Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Como o Brasil poderia melhorar a destinação do seu lixo. 2025. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/2025/01/16/como-o-brasil-poderia-melhorar-a-destinacao-do-seu-lixo/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

ALLAFI, A. R. *et al.* The effect of temperature and storage time on the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) into commercial bottled water in Kuwait. **Acta Biomedica**, v. 91, n. 4, e2020105, 2020. DOI: 10.23750/abm.v91i4.8463. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33525286/>. Acesso em: 10 abr. 2025.

ANDRADE, Ivânia Rocha de. O estudo atual do descarte de PET no Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS, 7., 2022, Campina Grande. Anais [...]. Campina Grande: Realize Editora, 2022. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/87340>. Acesso em: 18 out. 2025.

BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cebape/a/QCt3x3zVXKYNFftZrG8zn4R/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2025.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 jul. 2025.

BRASIL. Decreto Federal nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023. Regulamenta o art. 33 da Lei 12.305/2010, institui sistemas de logística reversa de embalagens em geral e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 14 fev. 2023.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Nosso Futuro Comum. [S.l.]: Oxford University Press, 1987.

CORRADINI, F. *et al.* Evidence of microplastic accumulation in agricultural soils from long-term plastic mulch use. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 1384–1391, 2019.

COUTO, Maria C. L.; LANGE, Liséte C. Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Vitória, v. 22, n. 5, p. 889-898, 2017.

CRESWELL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.

ES HOJE. Redação Multimídia. Espírito Santo produz 127 mil toneladas de resíduos por mês. Vitória, 2023. Disponível em: <https://eshoje.com.br/edicao-digital/2023/06/quantidade-de-lixo-reciclado-em-municipios-nao-chega-a-1-dos-materiais-recolhidos/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

FAGUNDES, Paula Abreu da Silva; HERCULANI, Rhadler. Logística reversa de garrafas PET na empresa JZ Reciclagens LTDA: um estudo de caso. **Interface Tecnológica**, São José do Rio Preto, v. 17, n. 1, p. 555-565, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.723. Disponível em: <https://doi.org/10.31510/infa.v17i1.723>. Acesso em: 20 jul. 2025.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Tempo para decomposição. Rio de Janeiro: Fiocruz, [s.d.]. Disponível em: <https://fiocruz.br/biosseguranca/Bis/infantil/reciclagem.html>. Acesso em: 20 jul. 2025.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. Programa ES Sem Lixão. Vitória, 2023.

HAIGERT, Fernando C. Alternativas para reduzir os impactos socioambientais do descarte de garrafas PET. 2009. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Eneqócios e Gestão Socioambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26786/000747133.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02 nov. 2025.

HORVATIN, S. Economia circular: governo federal lança novos decretos para reciclagem, logística reversa e recria programa Pró-Catador. **Ambiental Mercantil**, 14 fev. 2023. Disponível em: <https://www.ambientalmercantil.com>. Acesso em: 02 nov. 2025.

IBAMA. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Relatório técnico sobre microplásticos no ambiente e seus efeitos ecológicos. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2023.

IEMA – INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. *Sistema MTR-ES*. Vitória: IEMA, 2023. Disponível em: <https://iema.es.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2025.

JENNER, L. C. *et al.* Detection of microplastics in human lung tissue using μ FTIR spectroscopy. **Environmental Science & Technology**, v. 56, n. 4, p. 2473–2481, 2022.

JOSEPH, Tomy Muringayil *et al.* Polyethylene terephthalate (PET) recycling: a review. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 9, art. 100673, 2024. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100673.

LEITE, Paulo Roberto. Logística Reversa: Sustentabilidade e Competitividade. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LI, Q. *et al.* Microplastic polymer type impacts water infiltration and its own transport in soil. **iScience**, v. 28, n. 9, art. 113193, 2025. DOI: 10.1016/j.isci.2025.113193.

LOZANO, Y. M. *et al.* Disentangling mechanisms by which microplastic films affect plant–soil systems: physical effects of particles can override toxic effects of additives. **Environmental Sciences Europe**, v. 36, art. 198, 2024. DOI: 10.1186/s12302-024-01021-5.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde. 12. ed. São Paulo: Hucitec, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA (MMA). Brasil avança na política de resíduos e institui Sistema de Logística Reversa de Embalagens de Plástico. Brasília, 21 out. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/brasil-avanca-na-politica-de-residuos-e-institui-sistema-de-logistica-reversa-de-embalagens-de-plastico>. Acesso em: 01 nov. 2025.

MOVIMENTO ECONÔMICO. Reciclagem de PET cresce 14% no Brasil e impulsiona economia circular. 8 abr. 2025. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br>. Acesso em: 30 set. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, 2015. 41 p. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 30 set. 2025.

PAIÃO, Cristiane. Estuário de Santos tem um dos maiores níveis de contaminação por microplásticos do mundo, aponta estudo. Agência FAPESP, São Paulo, 2023. Disponível em: <https://agencia.fapesp.br/estuário-de-santos-tem-um-dos-maiores-níveis-de-contaminacao-por-microplasticos-do-mundo-aponta-estudo/41673>. Acesso em: 30 set. 2024.

PÉREZ MENAFRA, Rosina. Desafios do cooperativismo na cadeia da reciclagem: um olhar a partir da experiência dos catadores. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 11, n. 22, p. 1–18, 2015. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/3135>. Acesso em: 22 nov. 2025.

PETPLANET. Brazil recycled 410,000 t of PET packaging in 2024. 2025. Disponível em: <https://petpla.net/2025/05/14/brazil-recycled-410000-t-of-pet-packaging-in-2024/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

PNUMA – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. Tudo o que você precisa saber sobre poluição plástica. 25 abr. 2023. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-poluicao-plastica>. Acesso em: 30 set. 2025.

PREFEITURA DE VITÓRIA. Mais de 150 postos em 47 bairros recebem o lixo reciclável. Vitória (ES): Prefeitura de Vitória, 27 jun. 2024. Disponível em: <https://www.vitoria.es.gov.br/cidade/mais-de-150-postos-em-47-bairros-recebem-o-lixo-reciclavel>. Acesso em: 28 set. 2025.

QUALIFEST. Material biodegradável de PET e RPET. 2024. Disponível em: <https://www.qualifest.com.br/pet-e-rpet-pet-reciclado>. Acesso em: 10 nov. 2025.

RAGUSA, A. *et al.* Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. **Environment International**, v. 146, 106274, 2021.

RATHIKANNU, S. *et al.* based assessment of microplastic contamination in soil, water and insect ecosystems reveals environmental and ecological risks. **Scientific Reports**, v. 15, 2025. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-14507-w>. Acesso em: 10 out. de 2025.

SANEAMENTO AMBIENTAL. Brasil reaproveita 410 mil toneladas de PET. 2025. Disponível em: <https://www.saneamentoambiental.com.br/noticias/brasil-reaproveita-410-mil-toneladas-de-pet>. Acesso em: 12 nov. 2025.

SILVA, Sandro Pereira. Reciclagem e economia solidária: análise das dimensões estruturais dos empreendimentos coletivos de catadores no Brasil. **Política & Trabalho – Revista de Ciências Sociais**, João Pessoa, v. 1, n. 46, p. 1–22, 2017. DOI: 10.22478/ufpb.1517-5901.2017v1n46.31292.

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos. O que é Logística Reversa. [S. l.], [s.d.]. Disponível em: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/>. Acesso em: 22 out. 2025.

SINTAC. Recycling PET: how polyethylene terephthalate is recycled and reused. 7 ago. 2025. Disponível em: <https://sintac.es/en/pet-recycling-how-is-polyethylene-terephthalate-recycled-and-reused/>. Acesso em: 30 set. 2025.

SOUZA, Maria Eduarda de Azevedo. Regime Internacional de Meio Ambiente e Sustentabilidade e Políticas Públicas Ambientais no Brasil. 2024. Monografia (Bacharelado em Relações Internacionais) – Instituto de Geociências e Relações Internacionais, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Marília, 2024.

TREVISANUTO, Tatiene M. C. Logística reversa de embalagens PET no Brasil. **Revista FIBiNOVA**, v. 1, n. 1, p. 9-18, 2019.

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. Estudo constata que microplásticos contaminam águas e mexilhões no litoral do ES. Vitória: UFES, 2022. Disponível em: <https://blog.ufes.br/revistauniversidade/2022/04/01/estudo-constata-que-microplasticos-contaminam-aguas-e-mexilhoes-no-litoral-do-es/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). Plastics: the cost to society, the environment and the economy. Gland, Suíça: WWF International, 2021. Disponível em: https://wwflv.awsassets.panda.org/downloads/wwfintl_tcops.pdf. Acesso em: 10 out. 2023.

ZAPAROLLI, M. Microplásticos atingem tecidos humanos e provocam inflamações. **Pesquisa FAPESP**, São Paulo, 2023. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2023/09/067_microplasticos-no-litoral_332-parte-2.pdf. Acesso em: 22 out. 2025.