

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Natália Carvalhinho Windmöller

Estudo de Caso: Análise de Viabilidade Inicial de Logística Reversa de *Stretch*
Wrap em Empresa de Grande Porte

São Carlos
2023

NATÁLIA CARVALHINHO WINDMÖLLER

Estudo de Caso: Análise de Viabilidade Inicial de Logística Reversa de *Stretch*
Wrap em Empresa de Grande Porte

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Henrique Duarte de Oliveira

São Carlos

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

W331e Windmöller, Natália Carvalhinho
Estudo de Caso: Análise de Viabilidade Inicial de Logística Reversa de Stretch Wrap em Empresa de Grande Porte / Natália Carvalhinho Windmöller; orientador Guilherme Henrique Duarte de Oliveira. São Carlos, 2023.

Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2023.

1. Logística Reversa. 2. Economia Circular. 3. Stretch Wrap. 4. Resíduos Sólidos. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Natalia Carvalhinho Windmoller

Data da Defesa: 01/12/2023

Comissão Julgadora:

Resultado:

Guilherme Henrique Duarte de Oliveira (Orientador(a))

APROVADA

Cleyse Kelly Barbosa Nunes

APROVADA

Túlio Queijo de Lima

APROVADA



Prof. Dr. Marcelo Zaiat

Coordenador da Disciplina 1800091 - Trabalho de Graduação

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, que sempre me
apoiaram, e a todos que sonham,
têm esperança e lutam para reverter
a destruição do planeta Terra*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Cláudia e Dario, por sempre acreditarem no meu potencial e me apoiarem do início ao fim.

Ao meu namorado Rafael, por me incentivar a ser sempre uma versão melhor de mim.

Aos colegas de trabalho Tiago, Glauco e Kelly, que foram fundamentais na construção do projeto abordado neste case.

A minhas amigas Beatriz e Bruna, as quais as companhias foram essenciais para passar por todos os desafios da faculdade.

A todos meus colegas da faculdade que fizeram de alguma forma os dias mais leves e experiências únicas.

A empresa júnior e meus colegas da EESC Jr., que transformaram minha vida me fazendo descobrir minha paixão pelo mundo empresarial e projetos ambientais, além de toda experiência e conhecimentos adquiridos nos projetos e dia a dia da empresa.

A todos os professores que se dedicaram e trouxeram conhecimentos essenciais para me tornar a profissional que sou hoje.

Em especial ao Professor Guilherme, pela paciência e dedicação para que fizesse o trabalho com a melhor qualidade possível.

E a mim mesma, pela persistência, paciência e compaixão própria, que não me deixou desistir e me impulsiona a crescer, sonhar e a conquistar meus objetivos.

EPÍGRAFE

“There must be a better way to make the things we want, a way that doesn’t spoil the sky, or the rain or the land.”

Paul McCartney

RESUMO

WINDMÖLLER, N. C.. **Estudo de Caso: Análise de Viabilidade Inicial de Logística Reversa de *Stretch Wrap* em Empresa de Grande Porte.** 2023. 77 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

O presente trabalho realizou a análise inicial de viabilidade técnica, logística e econômica da implantação de um sistema de logística reversa de *Stretch Wrap* (SW) utilizado em embalagens de matéria prima industrial em uma indústria de bens de consumo de grande porte. Para tal, foram realizados: um levantamento bibliográfico, mercadológico e contatos com fornecedores para entendimento da possibilidade de reciclagem; levantamento dos processos logísticos atuais e mudanças necessárias para logística reversa; e levantamento dos custos para entendimento da rentabilidade. O estudo da bibliografia revelou que a reciclagem de filmes flexíveis de polietileno (PE), categoria do SW, possui desafios como a dificuldade de remoção da contaminação, que gera problemas de entupimentos de filtros de extrusão e pior performance do material. Outra adversidade é a degradação do plástico durante seu ciclo de vida e o processo de reciclagem. Entretanto, pesquisas também revelam estratégias para melhora da performance, dentre elas a otimização da reciclagem através de triagem adicional, lavagem a quente, melhorias na extrusão e a inclusão de estabilizantes; e adição de matéria virgem e aditivos, como modificadores poliméricos e moléculas que aumentam o peso molecular. Além disso, foram identificados no mercado fornecedores de SW reciclado e de equipamentos de reciclagem especializados para SW. Já o fornecedor escolhido para realizar o projeto possui linha de reciclagem específica para plásticos flexíveis. Com isso foi possível afirmar, inicialmente, a potencialidade técnica. Sua viabilidade será confirmada futuramente por teste de simulação de armazenamento de pallet com a aplicação de SW reciclado a partir de amostra de resíduo da fábrica. Verificou-se a viabilidade logística pelo diagnóstico atual e das mudanças necessárias da logística interna e externa à empresa. A principal mudança logística foi o diferente recipiente e organização da área de armazenamento, que exigirá treinamento dos funcionários da triagem específica do SW. Por fim, fez-se uma análise comparativa financeira dos gastos e economias adicionais. A maior economia foi com o preço do SW reciclado pela LR 50% mais barato do que o SW sem LR. Já a principal perda foi a extinção da venda do resíduo SW para as recicladoras. Fazendo uma análise comparativa, o saldo final foi positivo, sendo viável economicamente e estratégia de redução de custos para a empresa. Assim, confirmou-se a viabilidade inicial de logística reversa do SW.

Palavras-chave: Logística Reversa, Economia Circular, *Stretch Wrap*, Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

WINDMÖLLER, N. C.. **Case Study: Initial Feasibility Analysis of Reverse Logistics for *Stretch Wrap* in a Large Company.** 2023. 198 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023.

The present study conducted the initial analysis of the technical, logistical, and economic feasibility of implementing a reverse logistics system for *stretch wrap* used in industrial raw material packaging at a large consumer goods industry. To achieve this, a literature review and contact with suppliers were conducted to understand the possibility of recycling; an assessment of current logistics processes and necessary changes for reverse logistics; and a cost analysis to understand profitability. The literature review revealed that recycling of flexible polyethylene (PE) films, a category to which SW belongs, poses challenges such as difficulty in contaminant removal, leading to extrusion filter clogging and reduced material performance. Another challenge is the degradation of plastic during its life cycle and recycling process. However, research also suggests strategies for performance improvement, including optimizing the recycling process through additional sorting, hot washing, extrusion improvements, and the inclusion of stabilizers; and the addition of virgin material and additives, such as polymeric modifiers and molecules that increase molecular weight. Additionally, recycled SW suppliers were identified in the market, and the supplier has a specific recycling line for flexible plastics. Thus, it was initially possible to affirm technical feasibility. Its feasibility will be confirmed in the future by simulating pallet storage with the application of recycled SW from the factory waste sample. Logistical viability was affirmed based on the current diagnosis and necessary changes to internal and external logistics. The main logistical change involved different containers and the organization of the storage area, requiring employee training for specific SW sorting. Finally, a comparative financial analysis of additional expenses and gains was conducted, considering the main benefit (purchasing SW at a 50% lower cost) and the main loss (losing selling SW waste to recyclers). The result was positive, indicating economic viability and becoming a cost-reduction strategy for the company. Thereby, the initial feasibility of the SW reverse logistics process was confirmed.

Keywords: Reverse Logistics, Circular Economy, *Stretch Wrap*, Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Descrição gráfica dos processos de Economia Linear.....	25
Figura 2 – Descrição gráfica dos impactos da Economia Linear	26
Figura 3 – Ilustração do sistema Economia Circular	27
Figura 4 – Ilustração do diagrama de borboleta: ciclos biológico e técnico	28
Figura 5 – Ilustração do sistema de logística reversa.....	29
Figura 6 – Composição dos resíduos sólidos estimados Brasil.....	34
Figura 7 – Produção de resina por material e região.....	37
Figura 8 – Aplicação de <i>stretch wrap</i>	38
Figura 9 – Aplicação de <i>stretch hood</i>	39
Figura 10 – Shrink wrap aplicado.....	39
Figura 11 – Extrusora de matriz plana.....	40
Figura 12 – Ilustração da metodologia.....	42
Figura 13 – Esquema de melhorias de processo de reciclagem mecânica convencional	52
Figura 14 – Composto de madeira prensada plana utilizando <i>stretch wrap</i> como adesivo.	54
Figura 15 – Equipamento de reciclagem de <i>stretch wrap</i> da Atlantic Packaging.....	57
Figura 16 – Equipamento de reciclagem de <i>stretch wrap</i> da Polystar	57
Figura 17 – Equipamento de reciclagem de <i>stretch wrap</i> da EREMA.....	58
Figura 18 – Etapas da reciclagem.....	59
Figura 19 – Etapas de produção do filme.....	60
Figura 20 – Tipos de tratamento de resíduos na empresa em estudo.....	43
Figura 21 – Exemplo fictício de matéria prima embalada em <i>stretch wrap</i> e área de armazenamento.....	45
Figura 22 – Acondicionamento do material.....	46
Figura 23 – Área de armazenamento de plásticos e papelões.....	47
Figura 24 – Container de armazenamento.....	47
Figura 25 – Coleta containerizada.....	47
Figura 26 – Logística atual <i>stretch wrap</i>	49
Figura 27 – Doublestack	61
Figura 28 – Bag de resíduo.....	63
Figura 29 – Reorganização da área de armazenamento.....	64

Figura 30 – Paleteira levando bag.....	65
Figura 31 – Exemplo de outro resíduo em que seu transporte externo é feito em caminhão nas bags.....	65
Figura 32 – Logística reversa de <i>stretch wrap</i>	67
Figura 33 – Logística reversa de <i>stretch wrap</i> no sistema de Economia Circular.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Taxa de recuperação de recicláveis (%) em relação ao coletado (RDO+RPU) nas capitais do Brasil em 2018.....	35
Tabela 2 – Exemplos de <i>stretch wrap</i> reciclado disponíveis à venda no mercado	50
Tabela 3 – <i>Stretch wrap</i> na tabela de resíduos do PGRS.....	58
Tabela 4 – Etapas da logística e gerenciamento do resíduo SW.....	61
Tabela 5 – Etapas da logística e gerenciamento do resíduo SW com LR.....	68
Tabela 6 – Comparação de gastos antes e depois da LR.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EC	–	Economia Circular
EUA	–	Estados Unidos da América
HS&E	–	Saúde, Segurança e meio ambiente
LR	–	Logística Reversa
MTRs	–	Manifesto de Transporte de Resíduos
MRFs	–	Instalações de Recuperação de Materiais
PE	–	Polietileno
PGRS	–	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
SW	–	<i>Stretch Wrap</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	OBJETIVOS.....	24
2.1	Objetivo Geral.....	24
2.2	Objetivos Específicos.....	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1	Revolução Industrial, Economia Linear e Impactos no meio ambiente.....	25
3.2	Sustentabilidade e Economia Circular.....	26
3.3	Logística reversa.....	29
3.4	Reciclagem.....	33
3.5	<i>Stretch wrap</i> : conceito e alternativas.....	35
4	METODOLOGIA.....	41
4.1	Viabilidade técnica da reciclagem de <i>stretch wrap</i>	41
4.1.1	Pesquisa exploratória sobre reciclagem de <i>stretch wrap</i>	41
4.1.2	Mercado de <i>Stretch Wrap</i> Reciclado no Brasil.....	41
4.1.3	Contato com fornecedores.....	41
4.2	Desenvolvimento e análise do novo processo de logística reversa.....	41
4.3	Avaliação Econômica.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	44
5.1	Viabilidade técnica da reciclagem de <i>stretch wrap</i> : pesquisa exploratória.....	44
5.1.1	Pesquisa exploratória sobre reciclagem de <i>stretch wrap</i>	44
5.1.2	Mercado de <i>Stretch Wrap</i> Reciclado no Brasil.....	49
5.1.3	Contato com fornecedores.....	52
5.2	Desenvolvimento e análise do novo processo de logística reversa.....	56
5.2.1	Diagnóstico atual da logística do SW.....	56
5.2.1.1	Caracterização da empresa em estudo.....	56
5.2.1.2	<i>Stretch wrap</i> e sua logística atual.....	57
5.2.2	Prognóstico da LR do SW.....	63
5.3	Viabilidade econômica e rentabilidade.....	71
6	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS.....	75

1 INTRODUÇÃO

Após a Revolução Industrial, os seres humanos passaram a usar cada vez mais energia e recursos da natureza. Apesar dos produtos obtidos industrialmente melhorarem e darem conforto à vida humana, o uso excessivo dos recursos necessários para produzi-los causa poluição e degradação do meio ambiente. O resultado é a ameaça ao meio ambiente e à sustentabilidade da vida no planeta Terra (Zamani *et al.*, 2011).

Devido a esse problema, a Economia Circular (EC) vem sendo reconhecida como uma excelente alternativa para as crises de recursos, redução da poluição ambiental e promoção de um desenvolvimento econômico que caminhe em direção a sustentabilidade. A EC é um modelo econômico voltado para a minimização de resíduos, preservação de valor ao longo da utilização dos materiais, redução do uso de recursos naturais e promoção do uso eficiente de recursos por meio de circuitos fechados de produtos, componentes de produtos e materiais (Xijie *et al.*, 2023).

Neste contexto, para a promoção dos conceitos da economia circular, surge a necessidade de incorporação da Logística Reversa (LR), referente ao gerenciamento dos retornos de produtos e de embalagens, e da reciclagem, que permite a transformação do resíduo novamente em matéria prima. De fato, empresas têm construído redes de LR e fizeram investimentos em infraestruturas de reciclagem (Letunivska *et al.*, 2023).

Entretanto, muitas empresas possuem dificuldade em desenvolver com êxito a LR. Isso porque há desafios e riscos na implementação da LR, envolvendo aspectos internos e externos. Algumas barreiras internas estão relacionadas com a gestão, o financeiro, a logística e a infraestrutura, como falta de sistemas, recursos financeiros e pessoais, além de resistência à mudança e complicações de manufatura. Já questões externas envolvem apoio dos parceiros, políticas governamentais, perspectiva dos clientes e fabricantes (Souza *et al.*, 2018).

Nesse meio industrial, um dos resíduos produzidos em grande escala são embalagens de *Stretch Wrap* (SW) provenientes de embalagem de produtos em *pallets* para seu armazenamento e transporte. Alguns dos efeitos negativos desse material ao meio ambiente são a sua proveniência de fontes não renováveis e a emissão de gases do efeito estufa em sua fabricação (Guirola, 2010).

Por isso, diante dos impactos negativos do SW e de seus resíduos e da LR como ferramenta para a solução desses efeitos por meio da EC, o presente trabalho faz a análise de estudo de caso de viabilidade inicial de implementação de LR de SW em empresa de grande porte de bens de consumo. Para tal, foi feita uma análise técnica, logística e econômica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é realizar uma análise inicial de viabilidade técnica, logística e econômica da implantação de um sistema de logística reversa de *stretch wrap* utilizado em embalagens de matéria prima industrial em uma indústria de bens de consumo de grande porte localizada em um município do Estado de São Paulo, Brasil.

2.2 Objetivos Específicos

Delineou-se os seguintes objetivos específicos:

- I. Avaliação da viabilidade técnica de reciclagem de *stretch wrap*;
- II. Levantamento dos processos logísticos e de gestão necessários para a LR;
- III. Análise inicial de rentabilidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

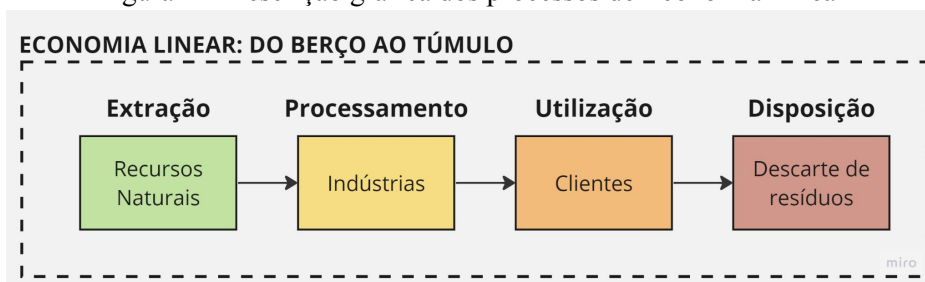
3.1 Revolução Industrial, Economia Linear e Impactos no meio ambiente

A Primeira Revolução Industrial ocorreu na Inglaterra, por volta de 1760, com o surgimento das máquinas e fábricas, seguido do aumento de navios, veículos e locomotivas. Já na Segunda Revolução Industrial desenvolveu-se a indústria química, do petróleo, do aço e da eletricidade, junto de ferrovias, aviões e barcos de aço. Dessa forma, o ser humano tornou-se cada vez mais capaz de fabricar e distribuir um volume maior de produtos, e em velocidades mais rápidas, com custos reduzidos (Oliveira, 2019).

Nesse desenvolvimento, os recursos naturais eram considerados ilimitados, e se estabelecia o modelo denominado de Economia Linear (Figura 1), que, segundo a Ellen Macarthur Foundation (2023), é definido como:

A economia linear, às vezes chamada de economia take-make-waste (extrair-produzir-descartar), é um sistema em que os recursos são extraídos para fabricar produtos que eventualmente se tornam resíduos e são descartados. Os produtos e materiais geralmente não são usados em todo o seu potencial em uma economia linear – e, como o nome sugere, sempre se movem em uma direção: da matéria-prima para o descarte. É um sistema poluente, que degrada os sistemas naturais e alimenta uma série de desafios globais, incluindo as mudanças climáticas e a perda de biodiversidade (Ellen Macarthur Foundation; 2023).

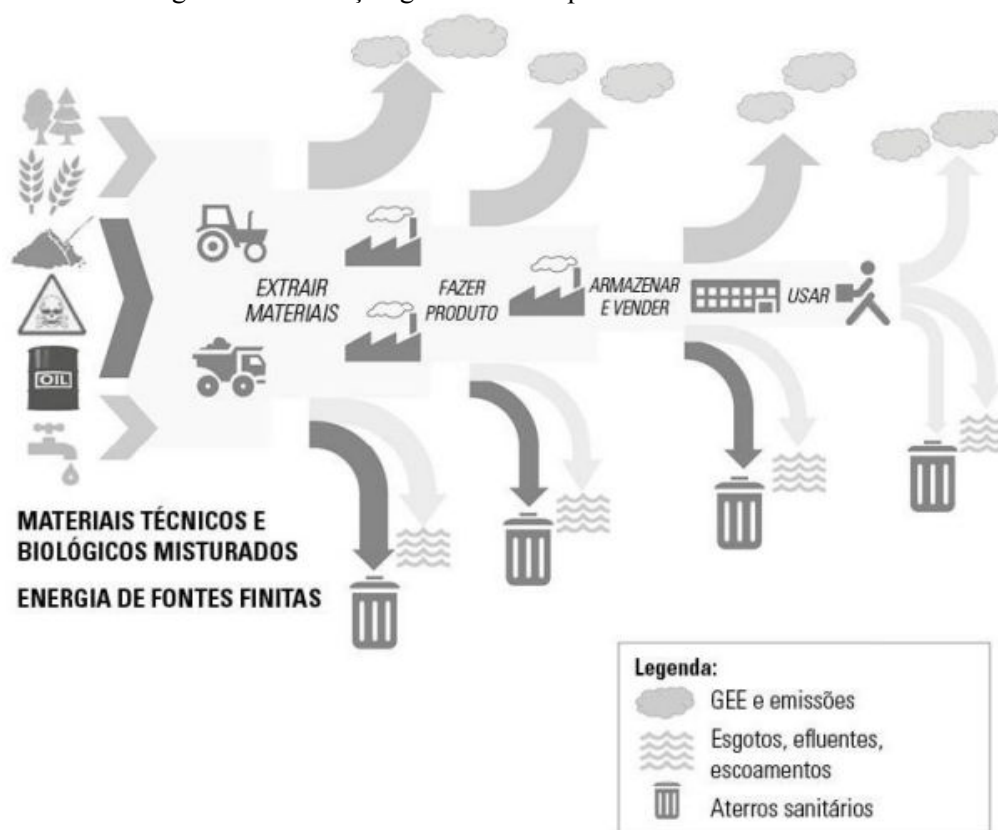
Figura 1 – Descrição gráfica dos processos de Economia Linear



Fonte: A autora (2023).

Todavia, a ampliação do bem-estar humano e a superação da escassez de recursos, sem a preocupação ambiental na equação, gerou efeitos negativos na forma de danos ambientais e perda de materiais valiosos (Ellen Macarthur Foundation, 2023). Durante todo o processo de extração, processamento, utilização e disposição, poluentes são lançados no solo, atmosfera e bacias hidrográficas, demandando o meio de realizar a depuração (Figura 2). Entretanto, compostos artificiais podem ser muito resistentes, podendo demorar décadas e mesmo séculos até a decomposição final.

Figura 2 – Descrição gráfica dos impactos da Economia Linear



Fonte: Weetman (2019).

Segundo Weetman (2019), a população mundial consome uma vez e meia da capacidade de recuperação do planeta por ano, causando uma “sobrecarga ecológica” (impacto ecológico acima da biocapacidade da natureza se recuperar). Além disso, o IPBES (Plataforma Intergovernamental de Políticas Científicas das Nações Unidas sobre Biodiversidade) em 2019 avaliou as mudanças da biodiversidade ao longo dos últimos 50 anos e publicou um relatório, no qual declara-se que a biodiversidade está em mais rápido declínio comparado a qualquer outro momento da história humana (IPBES, 2019).

3.2 Sustentabilidade e Economia Circular

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), ou ONU Meio Ambiente, definiu o desenvolvimento sustentável como “o desenvolvimento que garante as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem também às suas” (Nações Unidas Brasil; 2023). Entretanto, para alcançar tal objetivo, como Oliveira (2019) indica, é necessário mudar os padrões de produção, distribuição, consumo dos bens e serviços, ou seja, um progresso econômico em harmonia com a natureza.

Um novo padrão que alcança as dimensões ambiental, social e econômica da Sustentabilidade denomina-se Economia Circular (EC) (Figura 3). Tal conceito, segundo a Ellen Macarthur Foundation (2023) (fundação que tem objetivo acelerar a transição para a economia circular), se sustenta pela transição para energias e materiais renováveis, além de separar a ideia de que a atividade econômica envolve o consumo de recursos finitos. Além do mais, segundo o Instituto, esse modelo é baseado em três princípios, orientados pelo design: “Eliminar resíduos e poluição; Circular produtos e materiais (no seu valor mais alto); Regenerar a natureza”

Figura 3 – Ilustração do sistema Economia Circular



Fonte: Ideia Circular (2023).

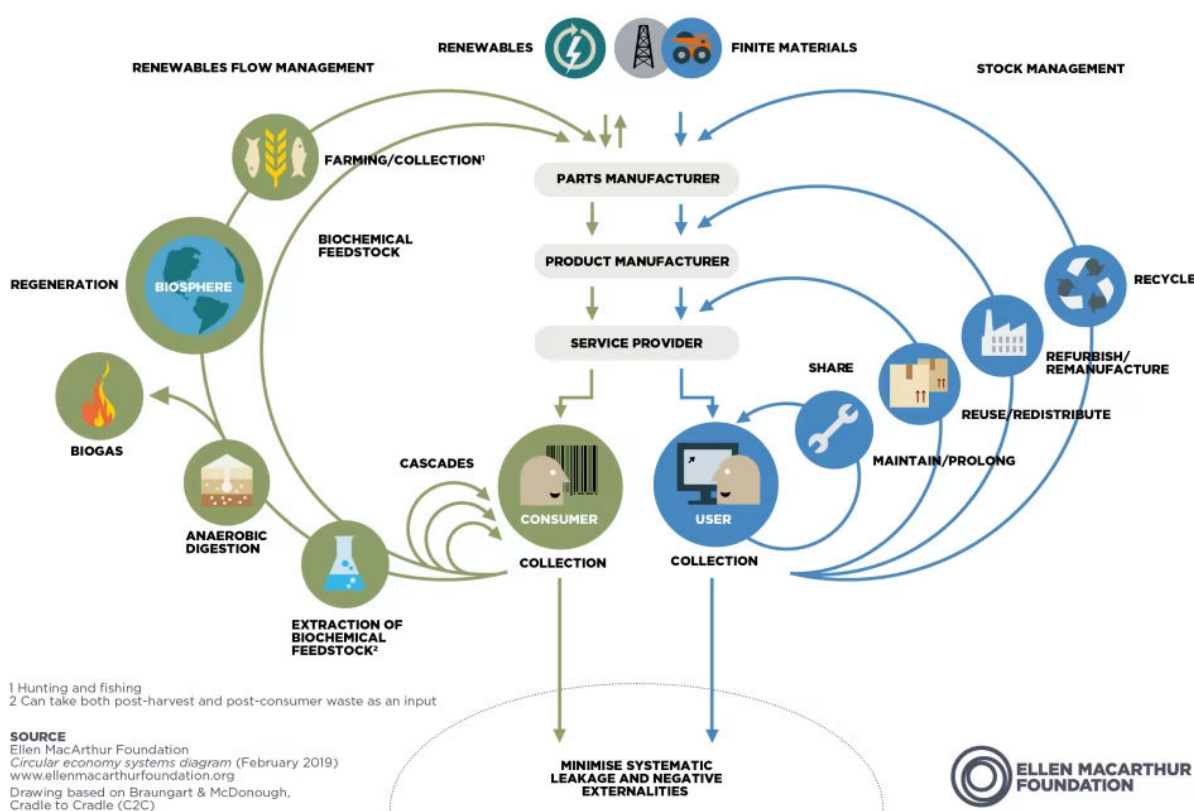
Os autores Prieto-Sandoval, Jaca and Ormazabal (2017) revisaram a literatura sobre economia circular e construíram a seguinte definição:

A economia circular é um sistema econômico que representa uma mudança de paradigma na forma como a sociedade humana se inter-relaciona com a natureza e visa prevenir o esgotamento dos recursos, fechar os ciclos energéticos e materiais e facilitar o desenvolvimento sustentável através da sua implementação nas micro (empresas e consumidores), meso (agentes econômicos integrados em simbiose) e macro (cidades, regiões e governos). Alcançar este modelo circular requer inovações ambientais cíclicas e

regenerativas na forma como a sociedade legisla, produz e consome (Prieto-Sandoval; Jaca Ormazabal; 2017).

Dessa forma, a Economia Circular abrange um modelo restaurador e regenerativo, com o objetivo de que os materiais conservem seu valor e utilidade ao longo do processo. Os ciclos biológicos ou técnicos compõem o diagrama sistêmico da economia circular, também denominado “diagrama de borboleta”, que descreve o fluxo contínuo de materiais em uma economia circular, ilustrado na Figura 4 (Ellen Macarthur Foundation, 2023).

Figura 4 – Ilustração do diagrama de borboleta: ciclos biológico e técnico



Fonte: Ellen Macarthur Foundation (2023).

Nesse cenário de economia circular, no Brasil, a Lei N° 12.305, de 2 de Agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define a responsabilidade do ciclo de vida dos produtos aos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Dessa forma, a responsabilidade por todas as etapas, do início ao fim da produção ao destino final dos produtos, é compartilhada por todos os envolvidos e deve ser implementada de forma individualizada e encadeada (Brasil, 2010).

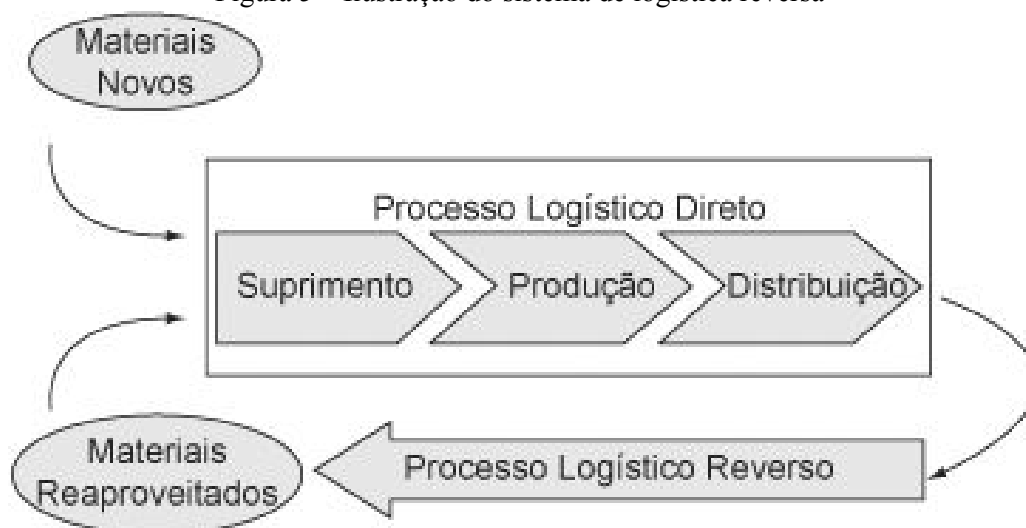
Já no Estado de São Paulo, a Política Estadual de Resíduos Sólidos cita que cabe ao Poder Público, em parceria com a iniciativa privada “incentivar a informação sobre o perfil e o impacto ambiental de produtos através da autodeclaração na rotulagem, análise de ciclo de vida e certificação ambiental” (São Paulo, 2006).

3.3 Logística reversa

Para fechar o ciclo da EC, a logística reversa é um dos instrumentos para a operacionalização desse ciclo. Dentro dos conceitos da economia circular, a logística reversa entra com o objetivo de recuperar materiais que podem ser reaproveitados nos ciclos da cadeia produtiva (Ding *et al.*, 2023), conforme a Figura 5. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) define logística reversa como:

“instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada”

Figura 5 – Ilustração do sistema de logística reversa



Fonte: Gonçalves e Marins (2006).

Esse termo de logística reversa desde a década de 1980 cresceu no varejo e indústria de manufatura (Ding *et al.*, 2023). A preocupação com o sistema logístico reverso já é comum a várias empresas, por exemplo, as fabricantes de bebidas, de pneus, de baterias de celulares e siderúrgicas (Gonçalves; Marins, 2006).

Nesse contexto, na Europa há a Legislação Europeia sobre Retornos (European Take-back Legislation) no setor de produtos eletrônicos (Gonçalves; Marins, 2006). Já no cenário do Brasil, como citado anteriormente, são abordados o instrumento de logística reversa e o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos na Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010).

Além disso, segundo o Art. 33 da PNRS, são obrigados a estruturar e implementar LR (de forma independente do serviço público) os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de:

“I - agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, ou em normas técnicas;

II - pilhas e baterias;

III - pneus;

IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens;

V - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista;

VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes.

§ 1º Na forma do disposto em regulamento ou em acordos setoriais e termos de compromisso firmados entre o poder público e o setor empresarial, os sistemas previstos no caput serão estendidos a produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados.”

Nesse contexto, segundo o SINIR (2023), até o momento, foram implementados os sistemas de LR para todos os produtos mencionados no o Art. 33 da PNRS, inclusos embalagens de aço; embalagens em geral; medicamentos, seus resíduos e embalagens; e latas de alumínio para bebidas.

Em adição à legislação federal, especificamente no Estado de São Paulo, a Política Estadual de Resíduos Sólidos (São Paulo, 2006) não comenta especificamente sobre LR, apesar de mencionar o incentivo à reciclagem. Entretanto, a Resolução SMA nº45, de 23 de Junho de 2015 da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, define as “diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós consumo no Estado de São Paulo, e dá as providências correlatas”, e obriga a estruturação dos sistemas de logística

reversa de forma independente do serviço público: os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos que exijam ou possam exigir sistemas especiais para acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento ou destinação final (São Paulo, 2015).

Ademais, a Resolução SMA nº45 também estabelece os produtos e embalagens sujeitos à LR. Divide-se entre os produtos que, após o consumo, resultam em resíduos considerados de significativo impacto ambiental; e embalagens de produtos que componham a fração seca dos resíduos sólidos urbanos ou equiparáveis, com exceção das classificadas como perigosas pela legislação brasileira. Os primeiros são, além dos mencionados no Art. 33 da PNRS: óleo comestível; filtro de óleo lubrificante automotivo; medicamentos domiciliares, vencidos ou em desuso. Já os segundos se referem a embalagens como de alimentos; bebidas; produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos; produtos de limpeza e afins; e outros utensílios e bens de consumo a critério da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ou da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (São Paulo, 2015).

Além disso, a Resolução também define que a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e a CETESB podem celebrar Termos de Compromisso com o objetivo de acompanhar e implementar os sistemas de LR. Também afirma que entidade representativa do setor contemplando conjuntos de empresas deve, preferencialmente, implementar os sistemas de LR, ou pode ser implementado por pessoa jurídica criada com o objetivo de gerenciar o respectivo sistema (São Paulo, 2015).

Por fim, a Resolução SMA nº45 também define que a Comissão Estadual de Resíduos Sólidos deverá coordenar a elaboração de propostas de regulamentação para tratamento tributário e fiscal específico para os resíduos de sistemas de logística reversa e produtos originados da reutilização e reciclagem desses resíduos (São Paulo, 2015).

Dessa forma, no Brasil as cadeias de logística reversa são determinadas por Acordos Setoriais e Termos de Compromisso (pactos entre o poder público e privado a partir de atos contratuais que estabelecem a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos). Especificamente nos Acordos Setoriais, são definidos metas para os atores envolvidos, as informações detalhadas de operacionalização; as fases de implantação da LR; e obrigações dos envolvidos, entre outros assuntos importantes (Ferreira; Rabelo, 2020).

Seguindo no cenário brasileiro, Portal da Indústria (2023) relembra a dificuldade de implementação da logística reversa no país, devido a suas dimensões continentais. Isso faz o processo depender de infraestrutura de transporte, no qual no Brasil ainda é deficitário. Outro

ponto levantado também é a provável inclusão de custos às empresas, de forma que o processo como um todo deve ter um saldo positivo, ou o custo dos produtos podem ser afetados.

Nessa conjuntura, Gonçalves e Marins (2006) evidenciam que, para o planejamento da rede logística, há a necessidade de analisar três aspectos importantes com respeito a produtos e suas respectivas embalagens:

- Do ponto de vista logístico, o ciclo de vida de um produto não se encerra com a sua entrega ao cliente. Produtos que se tornam obsoletos, danificados ou não funcionam devem retornar ao seu ponto de origem para serem adequadamente descartados, reparados ou reaproveitados;
- Do ponto de vista financeiro, existe o custo relacionado ao gerenciamento do fluxo reverso, que se soma aos custos de compra de matéria-prima, de armazenagem, transporte e estocagem e de produção, já tradicionalmente considerados na Logística; e
- Do ponto de vista ambiental, devem ser considerados e avaliados, os impactos do produto sobre o meio ambiente durante toda sua vida. Este tipo de visão sistêmica é importante para que o planejamento da rede logística envolva todas as etapas do ciclo do produto (Gonçalves e Marins; 2006).

Já o SINIR (2023) elenca os seguintes benefícios da logística reversa:

- Incentivar o reuso, a reciclagem e o tratamento dos resíduos;
- Aumentar a vida útil dos aterros sanitários por meio do desvio de resíduos que podem ser reinseridos na cadeia produtiva;
- Compartilhar a responsabilidade pela gestão de resíduos entre o setor público, setor privado e sociedade civil;
- Aumentar a eficiência no uso de recursos naturais;
- Ampliar a oferta de produtos ambientalmente amigáveis, gerando emprego e renda;
- Ampliar o espaço para a geração de novos negócios (SINIR; 2023).

Dessa forma, a logística reversa traz benefícios à sociedade e ao meio ambiente. Seja contribuindo para a circularidade dos recursos, essencial na economia circular, seja gerando empregos em sistemas logísticos reversos como cooperativas e catadores. Além do que, uma vez que a logística reversa entra no plano da empresa, estimula a inovação e design de embalagens mais recicláveis e que facilitem todo esse processo (Portal da Indústria, 2023).

3.4 Reciclagem

No ciclo da Economia Circular, a reciclagem passa a ser uma nova forma de manufatura, com o objetivo de reutilizar a matéria prima no sistema e eliminar o descarte (Oliveira, 2019). A PNRS (Brasil, 2010) define reciclagem como

Processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do Sisnama e, se couber, do SNVS e do Suasa (Brasil, 2010).

Dependendo da tecnologia utilizada na reciclagem, esse processo pode envolver a transformação do resíduo em materiais com propriedades inferiores aos originais (downcycling), ou preservar e mesmo melhorar suas características (upcycling) (Mantia, 2004).

Outros conceitos importantes são a diferenciação entre resíduo pós-industrial (PIR) e o resíduo pós-consumidor (PCR). O PIR, também conhecido como resíduo pré-consumidor, se trata dos resíduos gerados nas indústrias durante a produção e manufatura e, portanto, antes do uso do produto, consistindo geralmente de mono-materiais com menor potencial de contaminação e perdas no processo de reciclagem. Já o PCR são os resíduos gerados pelos consumidores após o seu uso, em suas casas ou em instalações comerciais e industriais (Schulte *et al.*, 2023).

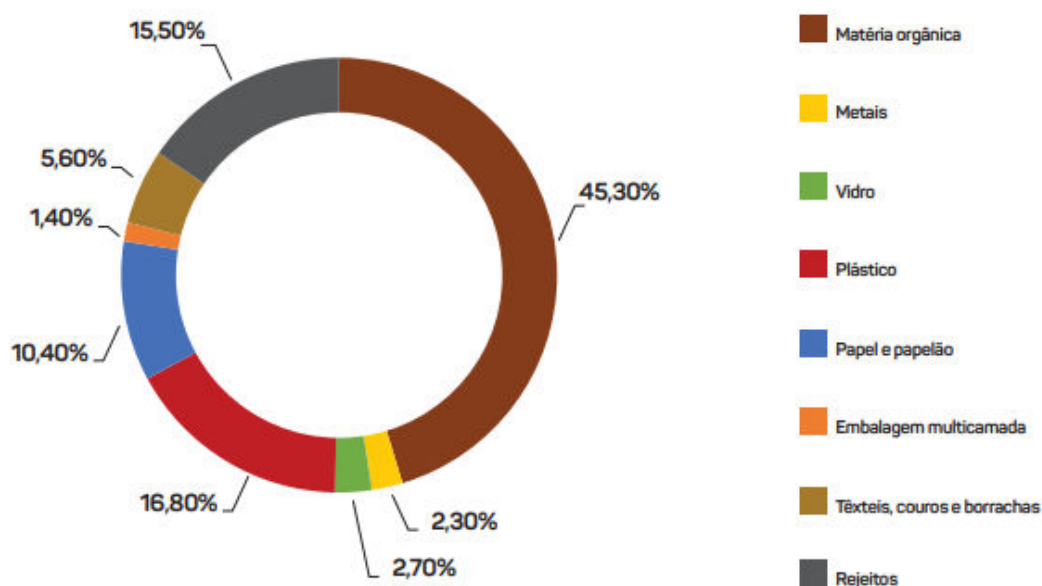
No cenário federal, na PNRS, a reciclagem aparece em seus objetivos II e VI: “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” e “incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados”. Além disso, na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos está em quarto na ordem de prioridade, atrás somente de não geração, redução e reutilização. Por fim, também determina que os planos de gestão de todos os âmbitos (Nacional, Estadual, Municipal e geradores) devem possuir metas relacionadas à reciclagem (Brasil, 2010).

Já especificamente no Estado de São Paulo, a reciclagem é abordada na Política Estadual de Resíduos Sólidos (São Paulo, 2006) em alguns de seus princípios como “a minimização dos resíduos por meio de incentivos às práticas ambientalmente adequadas de reutilização, reciclagem, redução e recuperação” e “o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico, gerador de trabalho e renda”. Ademais, a Política também tem como instrumento “o incentivo ao uso de resíduos e materiais reciclados como matéria-prima”.

Já para entender o contexto de reciclagem no Brasil, é necessário entender primeiro o cenário geral dos resíduos sólidos. No Decreto nº 11.043/2022, que instituiu o Planares (Plano Nacional de Resíduos Sólidos), plano que define em um horizonte de 20 anos estratégias, diretrizes e metas para o setor de resíduos sólidos, há um diagnóstico sobre os resíduos sólidos do país. Nessa análise, identificou-se que, apesar de a maior proporção dos resíduos sólidos urbanos, 45,3%, serem fração orgânica (sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeiras), 33,6% dos resíduos são recicláveis, sendo: 16,8% de plásticos; 10,4% de papel e papelão; 2,7% de vidros; 2,3% de metais; e 1,4% de embalagens multicamadas. Dentro dos outros 21,1%, 5,6% representam resíduos têxteis, couros e borrachas; e 15,5% equivalem aos rejeitos, compostos em maioria por resíduos sanitários (Figura 6). (Plano Nacional De Resíduos Sólidos, 2022).

Figura 6 – Composição dos resíduos sólidos estimados Brasil

Gráfico 3. Estimativa da Composição Gravimétrica média dos RSU coletados no Brasil.



Fonte: ABRELPE, 2020.

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022).

Entretanto, dentro dessa porcentagem de resíduos recicláveis, apenas uma parte é reciclada. Um estudo do SNIS, 2019 (ano base 2018, IN031) levantou a taxa de recuperação de recicláveis secos em relação ao total coletado por capitais das unidades federativas (Tabela 1), de acordo com a porcentagem de beneficiamento dos resíduos coletados (Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2022).

Tabela 1 – Taxa de recuperação de recicláveis (%) em relação à massa de resíduos sólidos urbanos coletada nas capitais do Brasil - 2018

Município	Taxa de recuperação de recicláveis secos(%)
São Luis	5,44
João Pessoa	5,31
Florianópolis	4,55
Goiânia	4,02
Porto Alegre	2,16
Curitiba	2,01
Cuiabá	1,43
Brasília	1,35
Porto Velho	1,35
Manaus	1,07
Vitória	0,91
São Paulo	0,88
Salvador	0,86
Natal	0,72
Palmas	0,58
Belo Horizonte	0,55
Belém	0,53
Fortaleza	0,47
Campo Grande	0,47
Aracaju	0,44
Maceió	0,37
Rio de Janeiro	0,35
Macapá	0,27
Recife	0,20
Teresina	0,20
Rio Branco	0,19
Boa Vista	ND

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2022).

Dessa forma, os índices de reciclagem no Brasil ainda são baixos. O Planares levanta cinco razões para isso, são elas:

- 1- Baixa adesão da população aos sistemas de coleta seletiva (seja por carência na infraestrutura dos serviços, seja por desconhecimento);
- 2- Mercados locais de comercialização e reciclagem de materiais inexistentes ou mal estruturados;
- 3- Cadeia logística oscilante e descontinuada, que não assegura constância, estabilidade e segurança no provimento dos materiais;
- 4- Elevada tributação incidente sobre as diferentes etapas, principalmente sobre a matéria-prima secundária;
- 5- Concorrência desleal com alternativas de destinação final inadequadas (lixões e aterros controlados) (Plano Nacional De Resíduos Sólidos, 2022).

Além disso, as autoras Rutkowski e Rutkowski (2017), que realizaram um estudo sobre as cadeias de reciclagem de plástico e papel no Brasil, concluíram que há a necessidade de políticas que aumentem as condições do curso dos resíduos recicláveis. Também apontam ser necessário benefícios fiscais e regras de compras sustentáveis para incentivar a indústria a utilizar matérias-primas recicladas.

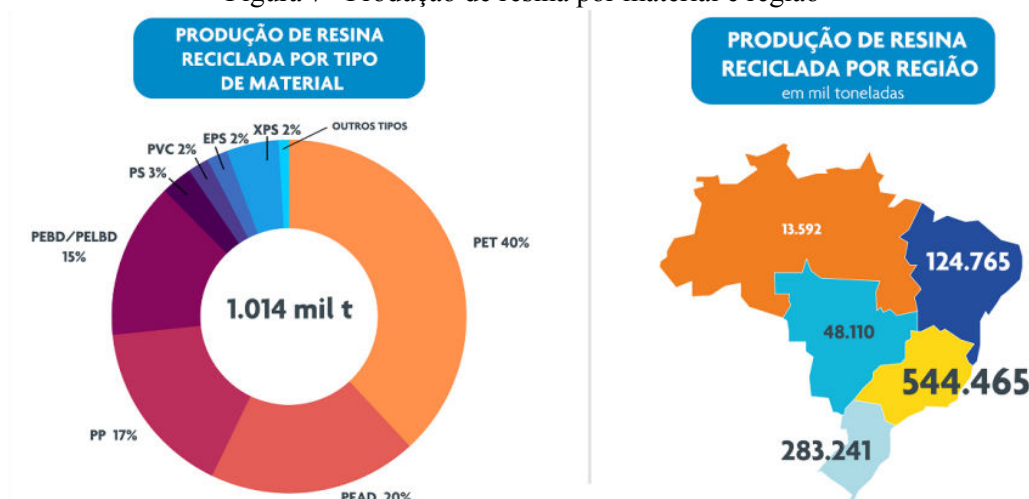
Dentro desse cenário brasileiro de reciclagem, sobre o material que será abordado no estudo de caso, o plástico, em 2018, a indústria de reciclagem de plásticos teve um faturamento bruto de R\$ 2,4 bilhões, a criação de 18,6 mil empregos e capacidade instalada de 1,8 milhão de toneladas de plásticos. Nesse ano, 3,4 milhões de toneladas de resíduo plástico pós-consumo foram geradas, sendo desses apenas 991 mil toneladas destinadas à coleta seletiva e, com ainda a perda de 234 mil toneladas destinados a aterros, 757 mil toneladas de plástico foram efetivamente reciclados, um crescimento de 37% em relação a 2016, que teve 550 mil toneladas (Abiplast, 2020).

Ademais, sobre as origens dos resíduos, Abiplast (2020) também aponta que em 2018 54,3% do plástico reciclado tem origem no uso doméstico, 28,4% proveniente de resíduo pós-industrial (PIR), e 17,3% se divide entre pós-consumo (PCR) não doméstico. Ainda, 28% do plástico chega aos recicladores por meio das próprias indústrias plásticas, 28% pelos sucateiros, 15% pelos beneficiadores, 15% pelas cooperativas, 11% por empresas de gestão de resíduos, 11% por catadores e 2% direto da fonte geradora.

Já a 4ª Pesquisa Anual de Índice de Reciclagem no Brasil (2022) aponta o aumento de 14,3% da produção de plásticos reciclados pós-consumo, sendo 1.014 mil toneladas de resina produzida (aumento de 33,9% em relação a 2018). De 2020 a 2021 houve o aumento de 2,4%

do número de empresas recicladoras e 16.883 empregos foram gerados. Além do mais, 66,67% proveniente de plástico PCR, enquanto 27% PIR. A Figura 7 representa a produção de resina por material e região.

Figura 7– Produção de resina por material e região



Fonte: Abiplast (2022).

Também é importante destacar que se tratando de tecnologias há uma variedade de tipos de reciclagem e recuperação. Hopewell *et al.* (2008) classificam em 4 categorias: primária (reprocessamento mecânico em um produto com propriedades equivalentes, também conhecida como reciclagem de circuito fechado), secundário (reprocessamento mecânico em produtos que requerem propriedades inferiores, o downcycling), terciário (recuperação de produtos químicos constituintes, polímero é despolimerizado aos seus constituintes químicos, incluindo processo natural de compostagem de biopolímeros) e quaternário (recuperação de energia).

3.5 *Stretch wrap*: conceito e alternativas

O *stretch wrap*, também conhecido como *stretch film*, é um filme plástico de alta capacidade de alongamento e recuperação elástica, com a função de união de objetos para que o seu transporte e armazenamento seja mais fácil, mantendo maior estabilidade e proteção (Singh *et al.*, 2014). Em uma unidade de carga, por exemplo, embalagens (caixas de papelão, barris, garrafas, dentre outros) são posicionadas sobre plataformas de envio (pallets, por exemplo) e o SW ao redor (Park *et al.*, 2018).

Com a globalização e o aumento do fluxo de cargas entre os países, há a tendência de aumento da demanda de *stretch wrap* que, segundo Wainer (2002), a indústria de SW cresceu

em grande escala nos 6-8 anos anteriores a pesquisa, tendo atingido 618 kilo toneladas só no mercado norte americano em 2000. Já Rocha (2013) apresenta que em 2009 seu volume comercializado foi de aproximadamente 4 milhões de toneladas.

Sua aplicação ocorre pelo seu estiramento ao redor dos materiais a serem embalados e sua tensão residual assegura a união destes. Há três níveis de automação na sua colocação: manual, semi-automático e automático. A primeira é feita manualmente de forma devagar e demandando mão de obra. A segunda há uma máquina que aplica o filme mas ainda necessita de uma pessoa para mover os materiais. Por último, a automática faz todo o processo de aplicação e rotação, a Figura 8 ilustra essa aplicação (Singh *et al.*, 2014).

Figura 8 – Aplicação de *stretch wrap*



Fonte: Swiftpak (2021)

Outras tecnologias similares ao SW são o *stretch hood*, um encapuzamento automático aplicando plástico pré-estirado que se adapta perfeitamente ao volume da carga (Figura 9); e o *shrink wrap*, que após a operação de embalagem é necessário uma operação para encolhimento do filme por calor, para que a embalagem fique firme (Figura 10). Entretanto, o uso *stretch wrap* é superior: em 2009, em um mercado de 4 milhões de toneladas, representou 76% do volume total, seguido pelo shrink (20%) e o *stretch hood* (4%) (Rocha, 2013).

Figura 9 – Aplicação de *stretch hood*



Fonte: Plastigaur (2023).

Figura 10 – *Shrink wrap* aplicado

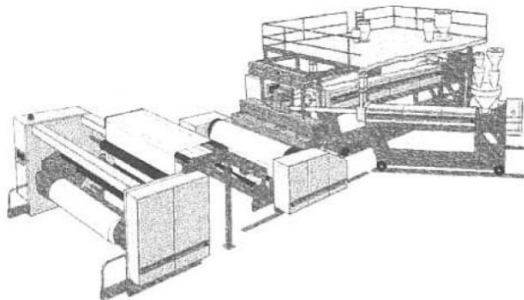
Fonte: Carters packaging limited (2023).

Dentro desse mercado de unitização de cargas, o material polimérico (tipo de plástico) utilizado também varia. Dentre eles, estão o polietileno de baixa densidade (PEBD), copolímero de etano/acetato de vinila (EVA), policloreto de vinila (PVC) e o polietileno linear de baixa densidade (PELBD), um tipo específico de polietileno (PE), sendo esse último amplamente utilizado no *stretch wrap*. Isso é explicado pois filmes de PELBD (ou LLDPE em inglês *Linear Low-density Polyethylene*) exibem maior resistência à tração, ao rasgo e à perfuração do que o PEBD, além de maior facilidade de obter filmes mais finos. Além disso, o processo produtivo do PELBD é mais competitivo (menor custo para maior produção) (Rocha, 2013).

Além do polímero que tem a propriedade elástica, na produção do SW é adicionado uma substância para conferir auto-adesividade do filme. Esse componente pode ser um poliisobuteno (PIB), um elastômero, um polietileno de muita baixa (VLDPE) ou ultra-baixa densidade (PEUBD), dentre outros (Novák; Florián, 1994).

Há várias formas para a produção do filme do *stretch wrap*: extrusão tubular ou plana, mono-extrusão ou co-extrusão, podendo variar de uma a 30 camadas. Uma iniciativa para redução de custos e também de sustentabilidade é a redução da espessura do filme, que vem sendo trabalhado pelos transformadores. Nesse contexto de filmes mais finos, as extrusoras de matriz plana têm vantagem e por isso vem sendo tendência de uso (Rocha, 2013). Outra vantagem da extrusora plana (Figura 11) é que, em geral, o filme produzido por ela possui maior clareza, uma vez que a resina é extrudada diretamente em um rolo frio (a taxa de cristalização é mais afetada do que no processo de sopro do filme) (Wainer, 2002).

Figura 11 – Extrusora de matriz plana



Fonte: Wainer (2002).

O *stretch wrap*, uma vez composto por polietileno (PE), caracteriza-se por ser quimicamente estável e não biodegradável, e, devido a insuficiência da reciclagem, seu destino tradicional inclui aterros sanitários e incineração (Yao, 2022). Nesse cenário, Hou *et al.* (2018) faz um estudo dos impactos ambientais das destinações finais do plástico filme por uma análise de ciclo de vida, comparando: reciclagem mista, reciclagem segregada, deposição em aterros e incineração. Os resultados sugerem que a reciclagem, seja mista ou segregada, possui benefícios ambientais superiores evidenciados principalmente pela redução na extração de recursos naturais, no consumo de água e na eutrofização associados à produção de materiais virgens utilizados na fabricação de produtos para embalagem.

Finalmente, vale citar outras alternativas ao SW do que os plásticos filmes, como bandas de plástico e metal, fitas, adesivos, cintas, redes e capas. Guirola (2010) compara esses diferentes tipos de tecnologias de unitização de materiais a partir de uma análise Triple Bottom Line, uma análise que envolve avaliação de aspectos econômicos, sociais e ambientais, recomendando o uso de adesivos em conjunto com capas para suporte extra. Entretanto, como Longo (2020) argumenta, esse método apresenta desafios como a formação do operador, quantidade de adesivo e capas a serem adquiridas e o desenvolvimento de um sistema de recuperação das capas. Além disso, o *stretch wrap* possui vantagens como: menor custo de manuseio (devido ao aumento da quantidade, tamanho e peso da carga); economia de mão de obra (o manuseio de itens soltos consome muito tempo); economia de transporte (menos tempo nas docas de carregamento); proteção (redução de furtos e danos); e controle de estoque (identificação mais fácil) (Wainer, 2002).

4 METODOLOGIA

4.1 Viabilidade técnica da reciclagem de *stretch wrap*

4.1.1 Pesquisa exploratória sobre reciclagem de *stretch wrap*

Para objetivo específico (I), relacionado à viabilidade tecnológica, realizou-se uma pesquisa exploratória sobre trabalhos relacionados à reciclagem de *stretch wrap* e plásticos filme, incluindo plásticos filme de polietileno (PE) - matéria prima mais comum do SW, assim como ofertas no mercado de SW reciclado. A pesquisa exploratória é caracterizada pelo levantamento de informações e referências bibliográficas, visando aprofundar o entendimento de um tema previamente estabelecido (Gil, 2002). Para a pesquisa em questão utilizou-se a base de dados *web of science* e a combinação de palavras chaves: *stretch wrap*; *stretch film*; reciclagem; *recycling*; plástico filme; *plastic film*, *PE films*; filmes PE. Além disso, nos trabalhos encontrados se explorou os artigos referenciados, buscando pelos nomes das referências no google acadêmico.

4.1.2 Mercado de *Stretch Wrap* Reciclado no Brasil

A partir da base do Google como pesquisa, levantou-se informações sobre a venda de *stretch wrap* reciclado no mercado.

4.1.3 Contato com fornecedores

Fez-se o contato com os fornecedores de plástico filme (embalagens primárias, secundárias, e terciárias, incluindo o *stretch wrap*) e levantamento de possibilidade de realização do retorno e reciclagem do *stretch wrap*, assim como o processo de reciclagem.

4.2 Desenvolvimento e análise do novo processo de logística reversa

Já para o objetivo específico (II), a abordagem da pesquisa se dividiu em duas etapas:

1. Diagnóstico atual da logística do SW - caracterização detalhada da logística atual do resíduo e matéria prima *stretch wrap* dentro e fora da empresa por meio de:
 - a. Caracterização inicial da empresa, por informações no site oficial;
 - b. Consulta do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) da empresa;
 - c. Consulta aos Movimentos de Transporte de Resíduos (MTRs) emitidos;
 - d. Contato com pessoa do departamento de gerenciamento de resíduos da empresa;

- e. Caracterização das área de acondicionamento e armazenamento;
 - f. Conversa com operadores e empregados terceirizados responsáveis pelo transporte interno dos resíduos.
2. Prognóstico da LR do SW - análise das mudanças necessárias a implementação da LR por meio de:
- a. Desenvolvimento e análise das mudanças necessárias a logística interna de gestão do *stretch wrap* (recipientes e áreas de acondicionamento e armazenamento, transporte interno, triagem) em parceria com o departamento responsável pela gestão de resíduos sólidos;
 - b. Determinação da logística externa (transportes externos e entendimento das etapas de reciclagem e produção do filme) em contato com o fornecedor a ser realizado o projeto.

4.3 Viabilidade econômica e rentabilidade

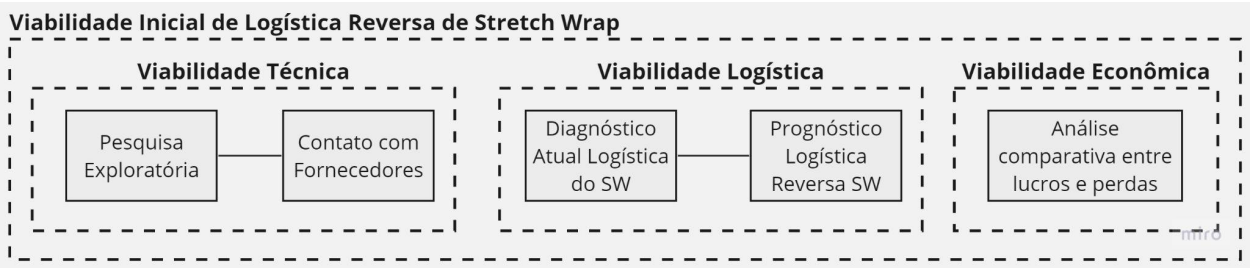
Para o objetivo específico (III), de análise econômica da LR, obteve-se:

1. Valor do quilograma (kg) de resíduo plástico vendido à empresas recicladoras na logística atual com a área responsável pela emissão das notas fiscais (reais/kg); por meio de contato com pessoa da empresa responsável pelo contrato;
2. Valor de possíveis serviços extras necessários à logística interna de funcionários com área gerenciadora de resíduos (reais); com pessoa da empresa responsável por contratação;
3. Valor de possíveis recipientes alternativos de acondicionamento e/ou armazenamento (reais); a partir de pesquisa no mercado;
4. Valor do kg de SW reciclado com os resíduos da empresa a partir da instalação do processo de LR definido(reais/kg); com pessoa responsável pelas propostas de contratos com o fornecedor do projeto;
5. Valor de transporte externo do resíduo a depender da definição da LR (reais); com pessoa responsável por contratos de transporte de resíduos.

Devido à confidencialidade, os valores são apresentados como variáveis e a análise é realizada por um estudo comparativo entre os valores de lucro e perdas, considerando as proporções entre valores.

Resumo da metodologia está ilustrada na Figura 12.

Figura 12 – Ilustração da metodologia



Fonte: A Autora (2023)

5 Resultados e Discussões

5.1 Viabilidade técnica da reciclagem de *stretch wrap*: pesquisa exploratória

5.1.1 Pesquisa exploratória sobre reciclagem de *stretch wrap*

A partir de levantamento bibliográfico, não foram identificadas pesquisas específicas envolvendo reciclagem de SW para SW. Entretanto, foram encontrados trabalhos envolvendo reciclagem de plásticos flexíveis de PE, material do SW, inclusive alguns com menção ao *stretch wrap* como resíduo a ser reciclado.

Apesar de Yao (2022) expor que por conta da insuficiência da reciclagem dos SW ele é tradicionalmente destinado a aterros sanitários e incineração, Meert, Izzo e Atkinson (2021) apresentam uma pesquisa nos Estados Unidos (EUA), sobre a reciclagem de plásticos flexíveis. Segundo os autores, 76% desse material é de origem comercial, industrial e agrícola; 22% de programas de coleta em lojas de varejo e 2% de Instalações de Recuperação de Materiais (MRFs). Além disso, neste país, há programas de coleta em lojas de varejo, nos quais se coleta principalmente plásticos PE. Nesses locais, caixas estão disponíveis para a coleta de plásticos PE usados por clientes. Os materiais são juntados com embalagens comerciais e filmes gerados nas próprias lojas, incluindo os *stretch wraps*. Estima-se que 57% do material coletado sejam filmes residenciais, 37% sejam SW comerciais e 6% sejam contaminação (More Recycling, 2019).

Já a coleta para as MRFs é feita pela a coleta nas calçadas, sendo o filme coletado junto com outros resíduos recicláveis. Entretanto, devido às altas taxas de contaminação, acaba gerando desafios operacionais, e os filmes são normalmente considerados contaminantes e destinados para aterros sanitários ou instalações de recuperação de energia (Horodytska *et al.*, 2018). Por conta disso, somente 11% dos residentes dos Estados Unidos podem incluir filmes plásticos na sua coleta de resíduos da calçada (Meert, Izzo; Atkinson, 2021).

Dessa forma, com base nesse exemplo nos Estados Unidos, podemos inicialmente inferir que a existência de programas de coleta indica que os plásticos flexíveis estão sendo reciclados e, conseqüentemente, sua reciclagem é viável. Todavia, destaca a importância da segregação adequada para sua viabilidade e o desafio da contaminação para o processamento.

Outros autores também discorrem sobre o problema da contaminação. Delgado e Stenmark (2006), por exemplo, destacam que uma das grandes dificuldades do processo de reciclagem de plásticos filmes, incluindo o PE, e portanto o SW, é a dificuldade da eliminação da contaminação no processamento. Isso acontece pois ao se enrolar nele mesmo, água e

sujeira ficam presas, dificultando a etapa de lavagem e secagem presentes no processo de reciclagem. Devido a essa contaminação, outro desafio de processo se encontra no entupimento das telas de filtro de extrusão.

Outro autor que cita a desvantagem da contaminação é Horodyski *et al.* (2018), que salienta que os filmes feitos com a resina reciclada de resíduos pós-consumo (PCR) frequentemente apresentam propriedades piores em comparação aos materiais originais. Nesse sentido, a cada reciclagem o resíduo plástico passa a acumular cada vez mais contaminantes, o que acaba limitando a um número total de ciclos possíveis. Esse número depende da degradação do material em todas as fases de seus ciclos de vida.

Nesse contexto, o SW desse estudo de caso se classifica como PCR, já que se enquadra em um resíduo gerado pelo consumidor após o seu uso (no caso os fornecedores de matéria prima são os consumidores de SW que embalam seus pallets com esse plástico e os armazenam e transportam, o seu “uso”). Entretanto, essa utilização ocorre no ambiente industrial, onde não se acumulam tanta contaminação como embalagens de comida e outros resíduos residenciais. Portanto, é esperado um menor efeito de queda de qualidade nas propriedades do material reciclado e menor acúmulo de contaminantes ao longo dos ciclos, possibilitando um maior número de ciclos de reciclagem.

Todavia, segundo o autor, não só a contaminação é o desafio. Os filmes flexíveis também apresentam baixa densidade aparente e a pequena espessura (20–200 μm) em relação aos plásticos rígidos, o que torna a reciclagem de filmes pós-consumo um desafio operacional e econômico. Ademais, RSE USA (2017) evidencia que nas MRFs nos EUA, nas unidades de triagem mecanizada os plásticos se prendem nas telas de disco giratórias usadas para separar materiais bidimensionais do resto do fluxo, o que precisa ser resolvido parando a linha e cortando manualmente os “emaranhados”. Estima-se que 90% das unidades recicladoras neste país apresentam linhas de reciclagem suscetíveis a esse problema .

A solução para esse problema é realizar a triagem do *stretch wrap* na própria empresa geradora, dispensando a necessidade de equipamentos mecanizados para a separação. Além disso, essa maior facilidade de triagem na fonte é uma vantagem da realização de reciclagem de resíduos provenientes de ambientes industriais. Especialmente o PIR, resíduos gerados nas indústrias durante a produção e manufatura antes do uso do produto.

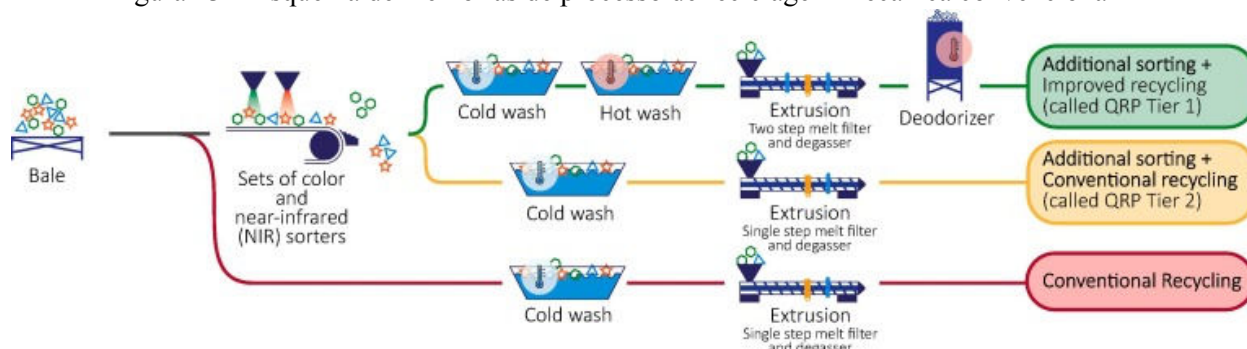
Em adição às desvantagens e aos problemas do material reciclado, Mariansky (2006) revela que o custo de produção de materiais virgens às vezes é menor que o custo de coleta, limpeza, separação e processamento de plásticos pós-consumo. Nesse cenário, os valores das resinas virgens são fortemente influenciados pelos preços do petróleo, e o aumento do valor

dessa matéria prima impulsiona a reciclagem de plástico, aumentando o valor do plástico reciclado e das resinas virgens.

No estudo de caso em questão, essa análise de preços da resina virgem *versus* reciclada é feita na seção de análise de viabilidade econômica, apresentada posteriormente.

Neste cenário de desafios, Bashirgonbadi *et al.* (2022) estuda o valor técnico e econômico de um processo de reciclagem mecânica de plástico filme melhorado (com triagem adicional, lavagem a quente e extrusão melhorada), conforme a Figura 13. O processo aprimorado apresentou resinas e filmes de melhor qualidade em diversos aspectos, como mais flexibilidade (45–60%), maior ductilidade (27–55%) e maior resistência à tração (5–51%), em comparação com a mecânica convencional, podendo aumentar cerca de 5-38% o valor da resina reciclada.

Figura 13 – Esquema de melhorias de processo de reciclagem mecânica convencional



Fonte: Bashirgonbadi et al. (2022).

Dessa forma, os plásticos reciclados pela reciclagem mecânica (sem recuperação de produtos químicos constituintes) possuem propriedades físicas, mecânicas e estéticas inferiores aos plásticos produzidos com resinas virgens, sendo considerados, assim, um processo de *downcycling*. Isso ocorre não só pela contaminação que se acumula, como também pela degradação devido a alteração das estruturas morfológicas dos polímeros durante a vida útil (degradação fotooxidativa) e operações de reciclagem (calor, estresse mecânico e radiações ultravioleta) (Mantia, 2004).

Apesar disso, Briassoulis *et al.* (2013) afirmam que é possível fazer um aperfeiçoamento para melhorar as propriedades mecânicas dos filmes plásticos reciclados e seu desempenho através da formulação de misturas e composições com aditivos, buscando a estabilização ou compatibilização de resinas.

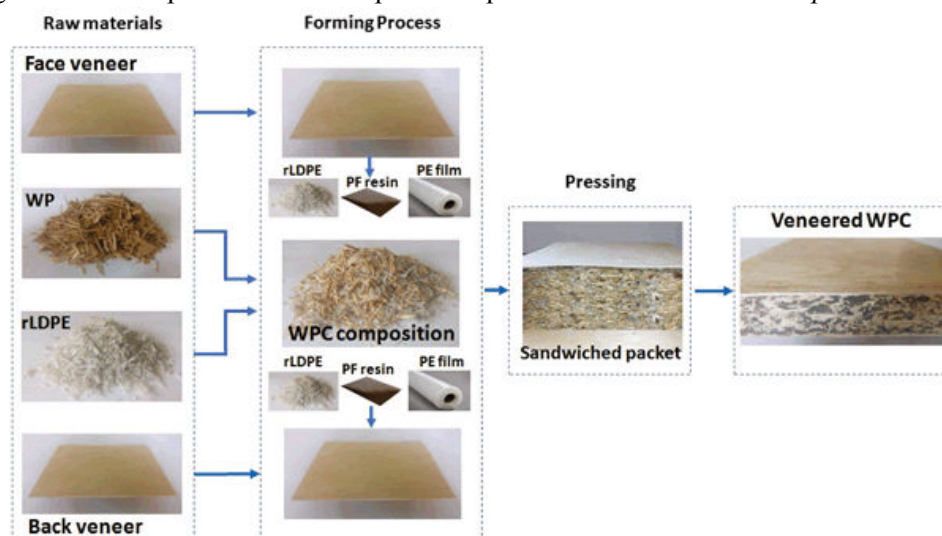
Mantia (2004) também cita estratégias que estão sendo aplicadas para evitar a degradação durante a reciclagem e tentar reparar ou mesmo melhorar as macromoléculas quebradas, buscando o *upcycling*. Por exemplo, a degradação durante a reciclagem na etapa

do estado fundido pode ser interrompida ou pelo menos reduzida pelo uso de estabilizantes adequados. Outra estratégia é o uso de cargas e modificadores poliméricos nos materiais reciclados, que podem melhorar por exemplo a resistência à tração e ao impacto. Além disso há a adição de moléculas que acumulam o peso molecular, que não só podem preservar como também melhorar a arquitetura molecular da resina reciclada.

Dessa forma, neste estudo de caso, é esperado que mesmo tendo uma taxa de contaminação baixa, o SW se degrade em seu ciclo de vida e reciclagem, podendo apresentar uma performance pior e, assim, ser enquadrado como *downcycling*. Entretanto, se for esse o caso, é plausível, primeiramente, aplicar uma triagem adicional, lavagem a quente e extrusão melhorada, como feito por Bashirgonbadi *et al.* (2022). Em segundo lugar é possível analisar a viabilidade de adição de aditivos ou mesmo um percentual de resina virgem para melhorar a qualidade do material.

Além do mais, vale salientar outras alternativas de transformações do SW que são encontradas na literatura, como alternativas no último caso se não fosse possível a realização da reciclagem de SW (polietileno) puro. Bach *et al.* (2003) testam a reciclagem de filmes PE em mistura com PP, e o material produzido possui boas propriedades mecânicas. Também, envolvendo *downcycling* há Bekhta, Lyutyy e Ortynska (2017) que desenvolveram painéis compostos de plástico de madeira prensada plana (WPC) a partir de polietileno de baixa densidade reciclado (rLDPE), partículas de madeira e diferentes tipos de folheados e usando filmes de polietileno (PE) como o *stretch wrap* como um dos compostos para adesivos por prensagem, processo ilustrado na Figura 14. Já Bekhta *et al.* (2016), desenvolveram painéis compostos de Tetra-Pak, filmes de alimentos (FPEF), SW reciclados e embalagens de PE para doces. Por fim, James *et al.* (2007) avaliaram as propriedades térmicas e reológicas de fusão de compósitos poliméricos produzidos a partir de resíduos de papel, resíduos de papel reciclado e papelão líquido, em uma matriz *Stretch Wrap* pós-consumo, chegando ao resultado de limite térmico de 240°C e grandes aumentos na viscosidade dos compósitos.

Figura 14 – Composto de madeira prensada plana utilizando *stretch wrap* como adesivo



Fonte: Bekhta, Lyuty e Ortynska (2017).

Portanto, de acordo com as pesquisas, foi possível compreender que a reciclagem de plásticos flexíveis possuem diversos desafios, como contaminação e degradação, que geralmente geram materiais de qualidade inferior (*downcycling*). Apesar disso, também há estudos que mostram que melhorias no processo como a formulação de misturas e composições com aditivos, como adição de modificadores poliméricos e moléculas que acumulam o peso molecular podem diminuir e até mesmo melhorar a performance do material (*upcycling*).

É importante destacar que não foram identificadas pesquisas envolvendo especificamente a reciclagem de SW para SW e testes da performance do SW reciclado. Com base nisso, destaca-se a importância de mais estudos científicos sobre o *stretch wrap* reciclado, especialmente no âmbito acadêmico.

Esse incentivo deveria vir das instituições públicas em parceria com as privadas. A própria Política Estadual de Resíduos Sólidos de São Paulo descreve que cabe ao poder público, em parceria com a iniciativa privada: “incentivar a pesquisa, o desenvolvimento, a adoção e a divulgação de novas tecnologias de reciclagem” (São Paulo, 2006). Isso proporcionaria mais conhecimento e aceleração nos processos de aperfeiçoamento da reciclagem de tal material, tão utilizado por diversos ramos de empresas.

Dessa forma, de acordo com a bibliografia, é possível concluir que a reciclagem de plásticos flexíveis, incluindo filmes de PE e especificamente SW, é possível, dependendo do nível de contaminação do material, da tecnologia de reciclagem disponível e da receita final de extrusão. Todavia, há a carência de estudos específicos de reciclagem específica de SW

para SW. Por isso, com base somente na pesquisa exploratória, é provável a viabilidade da reciclagem de SW para SW, entretanto ainda não é possível confirmar baseando-se somente nisso, seria necessário mais estudos e testes de reciclagem específica e de performance do SW reciclado.

5.1.2 Mercado de *Stretch Wrap* Reciclado no Brasil

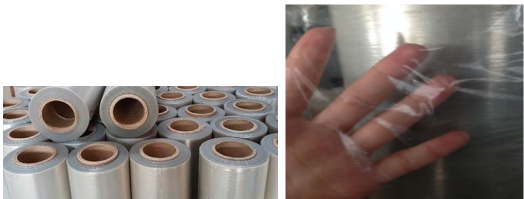
Nesse cenário de reciclagem do *stretch wrap*, em meio aos desafios e soluções, foi identificado no mercado diversos fornecedores de SW reciclado. A Industria Comercio Atacadista Distribuidora e Revenda do filme SW reciclado Centrocinco, por exemplo, atende todas as regiões e estados do Brasil. Dentro dos produtos oferecidos, há:

- filme *stretch* reciclado manual – hipermercado
- filme *stretch* reciclado industrial – enlatados – bebidas
- filme *stretch blow* – paletização – movimentação – armazenagem
- filme *stretch* reciclado ecológico – unitização – supermercado
- filme *stretch* cortado reciclado - embalagens e indústria móveis
- filme *stretch* reciclado jumbo – distribuidoras revenda de embalagem
- filme *stretch* reciclado automático – atacadista - distribuidor
- filme *stretch* reciclado com cola - agronegócio – feno pré secado
- filme *stretch* reciclado ecológico – transportadora – ração pet
- filme *stretch* ecológico - fármacos / farmácia – cosméticos
- rolo filme *stretch* - químicos e plásticos – têxtil
- bobina automatica filme *stretch* reciclado - exportação
- filme *stretch* reciclado ecológico PCR – logística
- filme *stretch* embalagem malas aeroporto – portos
- filme *stretch* reciclado - peso liquido – construção civil

(Centrocinco; 2023).

A Tabela 2 também expõe exemplos de SW reciclado disponíveis à venda no mercado no Brasil. Como pode se observar nesta tabela, as imagens ilustram plásticos não incolores, o que demonstra a presença de contaminação no resíduo que foi reciclado que não foi possível sua limpeza por completo e a degradação no processo de reciclagem, como descrito por Delgado e Stenmark (2006) e Horodytska *et al.* (2018).

Tabela 2 - Exemplos de *stretch wrap* reciclado disponíveis a venda no mercado

Fornecedor	Imagem <i>stretch wrap</i> reciclado
GR DISTRIBUIÇÃO E REPRESENTAÇÃO LTDA	
JHG DISTRIBUIDORA	
DRPACK EMBALAGENS	
ZOE PLASTICOS	
KABOOFLEX	

Fontes: MercadoLivre (2023); Zoeplasticos (2023); Mapplasticos (2023); Stretchfilm (2023)

Ademais, já há também empresas com linhas de reciclagem específicas para o *stretch wrap*, como a Atlantic Packaging (2023) (Figura 15). Como também máquinas compactas desenvolvidas pela Polystar (2023) (Figura 16) e EREMA (2019) (Figura 17) para resíduos com menor teor de contaminação.

Figura 15 - Linha de reciclagem de *stretch wrap* da Atlantic Packaging



Fonte: Atlantic Packaging (2023)

Figura 16 - Equipamento de reciclagem de *stretch wrap* da Polystar



Fonte: Polystar (2023)

Figura 17 - Equipamento de reciclagem de *stretch wrap* da EREMA

Fonte: EREMA (2019)

Portanto, no mercado brasileiro, foram identificados diversos fornecedores de SW reciclado, o que comprova a viabilidade técnica da sua produção. Todavia, não detalham sobre a melhor ou pior qualidade e performance do material.

Além disso, foram identificadas inovações em linhas e máquinas especialmente desenvolvidas para a reciclagem do SW, destacando a crescente demanda por essa prática em um material tão presente no mercado, voltado para a unitização e transporte de cargas, a ponto de impulsionar o desenvolvimento de linhas de produção específicas por parte dos fabricantes de máquinas.

Dessa forma, mesmo com as dificuldades elencadas na bibliografia e a ausência de estudos científicos específicos sobre o SW reciclado, com base nos produtos SW reciclado vendidos e existência de tecnologia avançada específica para sua reciclagem, é possível confirmar a possibilidade de reciclagem de *stretch wrap*, que não só é viável tecnologicamente como também já é realizada no Brasil.

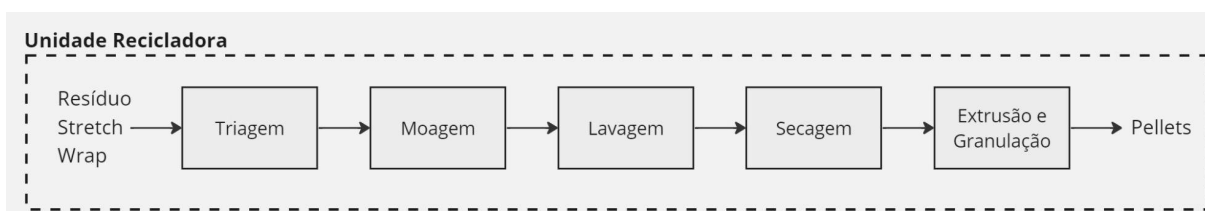
5.2.3 Contato com fornecedores

Foi feito o contato com os fornecedores atuais de plásticos flexíveis (que fornecem não só SW como também embalagens para os produtos da companhia) que possuem o *stretch wrap* em seu portfólio. Com um dos fornecedores, designando aqui como “Fornecedor Y”, foi levantado um orçamento do SW reciclado realizando a logística reversa do resíduo da empresa. O preço orçado significaria a redução de 50% do preço do SW em relação ao fornecedor atual (“Fornecedor X”).

Para o processo de reciclagem, a empresa fornecedora confirmou possuir uma unidade de reciclagem para plásticos flexíveis. Isso viabiliza a transformação dos resíduos em *pellets*, pequenas esferas de plástico que servem como matéria-prima para a extrusão e fabricação do *stretch wrap*. Portanto, a sequência operacional envolveria a transferência inicial do resíduo para a unidade de reciclagem, seguida pelo encaminhamento à unidade responsável pela produção de plásticos flexíveis.

Na primeira unidade (recicladora), o processo de transformação do resíduo do SW envolve as etapas de triagem, moagem, lavagem, secagem, extrusão e granulação (Figura 18).

Figura 18 - Etapas da reciclagem



Fonte: A autora (2023)

Na etapa de triagem os resíduos são dispostos em uma esteira anterior a entrada do equipamento, onde funcionários checam e separam do SW eventuais outros resíduos que podem ter sido encaminhados em conjunto. No final da esteira, há um detector de metais que para a esteira em caso de não retirada de algum contaminante metálico, que pode gerar danos às lâminas do processo de moagem.

Em seguida, o SW é encaminhado para etapa de moagem, para triturar o material em pedaços menores para facilitar a lavagem. Nessa fase, o plástico é introduzido em um moinho equipado com lâminas rotativas, tanto móveis quanto fixas, que desintegram o material. Uma tela posicionada abaixo facilita a passagem apenas dos plásticos com o tamanho desejado.

Após o processo de trituração, o material avança para a fase de lavagem. Nessa etapa, os fragmentos de plástico são inseridos em um tanque horizontal retangular contendo água e uma solução cáustica, enquanto pás rotativas impulsionam o material para frente.

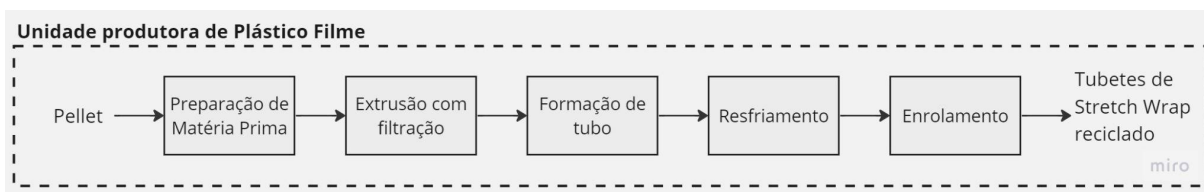
Após passarem pelo tanque de lavagem, os materiais avançam para a fase de secagem. Essa etapa é essencial pois alta umidade prejudica o processo de extrusão. Aqui, são submetidos a uma centrífuga que utiliza ar quente. A combinação de calor, rotação e telas remove a umidade do material.

Por último, o processo de extrusão e granulação. Na extrusora os flocos são fundidos em um extrusor, onde uma rosca rotativa aplica calor e pressão ao plástico, transformando-o

em uma massa fundida. A massa fundida é então forçada através de uma matriz, moldando-a em pequenos cilindros ou pellets. Esses pellets são resfriados para solidificar e formar pequenas esferas de plástico.

Esses pellets são então encaminhados para a unidade produtora de plásticos flexíveis. Para a produção do filme, é utilizada a tecnologia de extrusão tubular, e temos as etapas de preparação da matéria prima, extrusão com filtração, formação do tubo, resfriamento e enrolamento (Figura 19).

Figura 19 - Etapas de produção do filme



Fonte: A autora (2023)

Primeiramente na preparação da matéria prima, os pellets são introduzidos em um funil. Este é o momento de definição da composição para a extrusão. Ou seja, se houver a intenção de misturar com matéria-prima virgem, é neste estágio que a combinação desejada é adicionada.

Já na fase de extrusão os pellets do funil vão novamente para a extrusora, que funde o material por calor e pressão da rosca giratória. Esse polímero fundido passa então por um sistema de filtragem para retirar impurezas.

O polímero fundido é então forçado através de uma matriz circular para criar um tubo. Em seguida, esse filme é resfriado por meio de rolos refrigerados e, por fim, enrolados em rolos de papelão.

É importante destacar que, como levantado na literatura, diferentemente do material virgem, o material reciclado ainda apresenta certa contaminação. Isso, além de afetar visualmente o material, deixando menos transparente e visível pequenas partículas (apesar de não relevante neste caso, que tem o objetivo de unitilizar, proteger e dar estabilidade), aumenta a frequência de limpeza dos filtros do processo de extrusão. Isso atrasa o processo, diminui a produtividade e aumenta os custos do fornecedor devido a limpeza dos filtros. Entretanto, tal problema depende da quantidade de contaminação e da eficiência do processo de lavagem, o que será diagnosticado após a realização de testes.

Outro problema da contaminação é a possível diminuição de performance na aplicadora de *stretch wrap* e a propriedade elástica em si. Para amenizar ou mesmo solucionar

tal problema, é possível primeiro trabalhar na logística interna treinando os operadores para não misturarem outros materiais que tenham contaminação; em segundo lugar aprimorar a etapa de lavagem adicionando mais da solução cáustica no tanque de limpeza; e por fim adicionar à receita de extrusão uma porcentagem de resina virgem ou estudar possíveis aditivos para melhorar a performance. Novamente, essa análise de soluções será feita após realização de testes.

Dessa forma, a bibliografia e o mercado afirmam a viabilidade técnica e o fornecedor possui linha de reciclagem específica para plásticos flexíveis, sendo possível afirmar, por uma análise inicial, que é viável o processo. Para a aprovação final de viabilidade e se instalar a LR de fato, as empresas realizarão testes de reciclagem com o resíduo da empresa em estudo e testes na máquina aplicadora de SW para avaliar a performance do material reciclado.

Para esses testes, amostras de um volume do resíduo SW serão separadas e enviadas para o fornecedor, que deverá fazer a reciclagem desta amostra e produzir o filme com o material reciclado. Esse filme então deve retornar a empresa para ser testado na máquina aplicadora de SW automática, para checar se a máquina opera bem o material e se o resultado (pallet embalado) é estável e capaz de proteger os produtos. Para isso, aplica-se o SW rodando a linha normalmente por 1 hora e, dos pallets resultantes, alguns são guardados nos racks e outros são guardados em dois, um sobreposto no outro, denominado *doublestack* (Figura 20), simulando os armazenamentos dos pallets. Após 15 dias e 1 mês, mede-se parâmetros dimensionais para analisar se houve deformação nos pallets, além das dimensões e aspectos visuais do produto embalado. Isso permite analisar se o SW reciclado fez sua função de manter estabilidade e proteção do produto.

Figura 20 - *Doublestack*



Fonte: Americansurplus (2023).

A partir desses testes, será possível aprimorar os processos logísticos, de reciclagem e extrusão, em uma parceria empresa-fornecedor. Uma vez passado no teste, a nova matéria prima estará então qualificada e pode ser comprada oficialmente para operação.

5.2 Desenvolvimento e análise do novo processo de logística reversa

5.2.1 Diagnóstico atual da logística do SW

5.2.1.1 Caracterização da empresa em estudo

A empresa em que foi realizado o presente estudo de caso é de grande porte da área de bens de consumo. Está no estado de São Paulo no Brasil. Pelo seu grande porte, de acordo com os registros de Movimento de Transporte de Resíduos da empresa, a geração de resíduos por mês é de, em média, 600 toneladas. Desses, cerca de 90% são recicláveis, destinados à reciclagem, e 10% são não recicláveis, sendo 8% destinado a coprocessamento (incineração com reaproveitamento de energia), 1% resíduos orgânicos, destinados a compostagem, e 1% resíduos com suspeita ou certeza de contaminação biológica por agentes com elevado risco individual e elevado risco para a comunidade, destinados a incineração (sem recuperação de energia), ilustrado na Figura 21.

Figura 21– Tipos de destinação final de resíduos sólidos na empresa em estudo



Fonte: A Autora (2023).

Em seu Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS), a empresa divide as responsabilidades de gerenciamento entre três áreas:

1. “Áreas da Planta Geradoras: responsável por segregar os resíduos de acordo com cada tipologia; identificar e dispor resíduos em áreas demarcadas; alinhar entrega de resíduos em grande volume com a Gerenciadora de Resíduos; e designar funcionário para acompanhamento da destruição de resíduos de produto acabados.
2. Saúde, Segurança e Meio Ambiente – HSE: responsável por auditar as empresas receptoras e transportadoras de resíduos; definir o procedimento de destinação dos resíduos de acordo com sua característica; atualizar a base de dados de resíduos sólidos administrados pelo Centro de Reciclagem; supervisionar empresa administradora da Central de Resíduos; assegurar capacitação e treinamento dos funcionários neste procedimento; auditar empresas transportadoras e receptoras;
3. Compras: negociar os preços com empresas contratistas, por meio de contrato garantindo beneficiamento e menor custo de acordo com a classificação do resíduo e destinação final; garantir em contrato com as empresas contratistas garantia de acompanhamento por funcionário e laudos de descaracterização e destruição dos resíduos sólidos.

Em adição, o PGRS também dispõe de tabela de resíduos que identifica a área de geração, nome do resíduo, descrição interna, classificação, tipo de tratamento/disposição, Código IBAMA, Código Identificação (CONAMA 313 e NBR10004:2004) e destinatário.

5.2.1.2 *Stretch wrap* e sua logística atual

A empresa produz cinco categorias de produtos diferentes nesta unidade. Em todas as categorias de produtos, a maioria das matérias primas vem embalada em *stretch wrap* e outros plásticos flexíveis para proteção, gerando seu resíduo quando desembalado. No último ano (2022), gerou-se cerca de 710 toneladas de resíduos plásticos, sendo estimadas 250 toneladas de SW, representando cerca de 3,5% dos resíduos da empresa. Por outro lado, a companhia também utiliza ao ano em média 200 toneladas de SW virgem, como parte da embalagem terciária de seus produtos, isto é, para unitização de seus produtos em pallets, fornecendo estabilidade e proteção no armazenamento e transporte.

Na matriz de resíduos do PGRS da empresa, temos informações para o resíduo *stretch wrap*, dispostas na Tabela 3.

Tabela 3 – *Stretch wrap* na tabela de resíduos do PGRS

Área	Geral
Resíduo	Plásticos diversos
Descrição Interna	Plásticos <i>Stretch Film</i> e outros plásticos exceto leitoso
Classe	II A - Não Perigoso não inerte
Tratamento/ Disposição	Reciclagem
Código IBAMA	15 01 02 - Embalagens de plástico
Código Identificação (CONAMA 313 + NBR10004:2004)	A007 - Resíduos de plásticos polimerizados de processo
Destinatário	Confidencial (nome da empresa destinatária)

Fonte: A autora adaptado do PGRS da empresa em estudo (2023).

Ademais, na gestão atual, o *stretch wrap* chega na empresa, como informado, cumprindo a função de embalagem para proteção dos pallets das matérias primas, que ficam na área de estoque da planta (Figura 22).

Figura 22 – Exemplo de matéria prima embalada em *stretch wrap* e área de armazenamento, análogos ao processo na empresa em estudo



Fonte: Lslimaseg (2023); Sbpallet (2021).

Esses pallets são então levados até a linha por operadores por meio de paleteiras. Para a utilização das matérias primas nas linhas, o *stretch wrap* é então desembalado dos materiais pelo operador da linha e acondicionado em pequenos contêineres retangulares plásticos móveis em paralelo às linhas de produção, em mistura com outros plásticos flexíveis de outras matérias primas e papéis e papelões (Figura 23). Não há identificação visual dos contêineres, mas a cultura de descarte é bem conhecida e raramente se descarta os plásticos e papelões em outros recipientes. Por outro lado, eventualmente há o descarte de materiais não plásticos e papelões, como protetores auriculares e fitas adesivas.

Figura23 – Acondicionamento do material de embalagens descartados nas linhas de produção



Fonte: A Autora (2023).

Em seguida, esse pequeno contêiner quando cheio é transportado internamente por pessoa de empresa terceira contratada até o local de armazenamento, uma doca externa da empresa (Figura 24). Neste local, essa mesma pessoa responsável faz a triagem dos plásticos

dos papelões nos contêineres de armazenamento (Figura 25) correspondentes, juntando os plásticos provenientes de todas as linhas e áreas.

Figura 24 – Área de armazenamento de plásticos e papelões



Fonte: A Autora (2023).

Figura 25 – Container de armazenamento



Fonte: A Autora (2023).

O sistema de coleta ocorre através da coleta containerizada, onde os contêineres possuem um design específico que permite o encaixe do caminhão, de forma a facilitar a retirada e transporte (Figura 26). E assim, por fim, um caminhão da empresa gestora contratada de resíduos retira esse material e o transporta até outra empresa destinatária final, que compra o resíduo plástico. Essa empresa recicladora então recicla e vende o material reciclado.

Figura 26 – Coleta containerizada



Fonte: Novaosasco (2023).

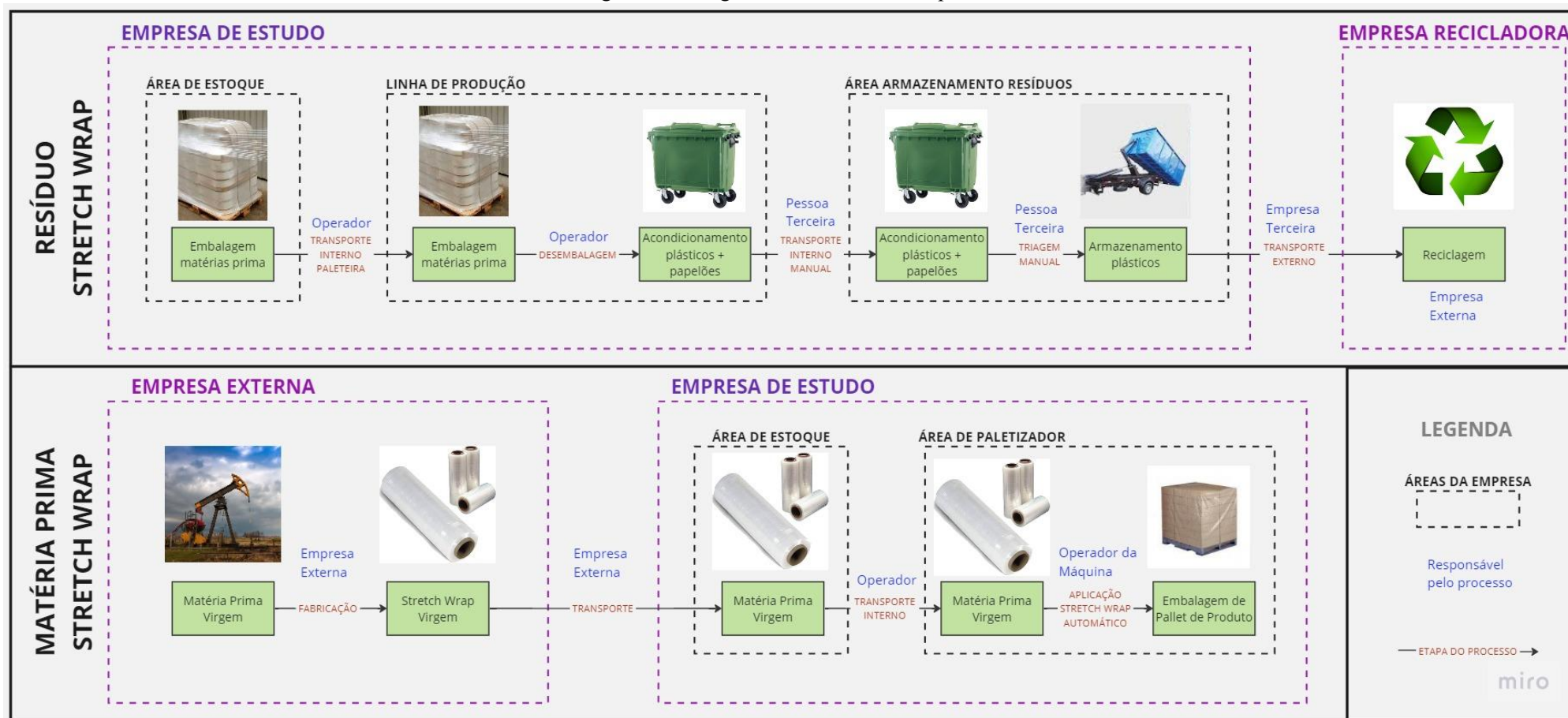
A Tabela 4 descreve as etapas logísticas e de gerenciamento do resíduo SW.

Tabela 4– Etapas da atual logística e gerenciamento do resíduo SW

Etapa	Descrição	Local	Responsável
Transporte Interno Estoque para a linha	Transporte da matéria prima embalada no SW por meio de paleteira	Da Área de Estoque para a linha de produção	Operador de logística
Desembalagem	Retirada do SW da matéria prima	Linha de produção	Operador da linha
Acondicionamento	Acondicionamento em contêiner pequeno, junto de outros resíduos plásticos e papelões		
Transporte Interno linha para local de armazenamento	Transporte manual de container móvel	Da linha para Área de Armazenamento	Pessoa de empresa terceirizada contratada para gestão interna de resíduos
Triagem	Separação dos plásticos dos papelões	Área de Armazenamento	
Armazenamento	Armazenamento dos plásticos em contêiner		
Transporte externo para destinatário	Transporte do contêiner pelo modelo coleta containerizada a empresa recicladora	Da empresa produtora a empresa recicladora	Outra empresa terceirizada contratada para destinação dos resíduos
Reciclagem	Transformação dos plásticos em matéria prima para produtos de qualidade inferior (downcycling)	Empresa Recicladora	Empresa Recicladora

Fonte: A Autora (2023).

Ademais, para efeito comparativo com o processo de LR desenvolvido, é importante o entendimento do cenário atual do SW comprado para embalagem dos pallets dos produtos novos da empresa. De maneira simples e concisa, o SW é produzido utilizando resinas plásticas derivadas de recursos não renováveis, entregue para a empresa em estudo que utiliza máquina automática de aplicação. A Figura 27 ilustra ambos processos envolvendo a gestão do resíduo SW e processo da matéria prima SW.

Figura 27 – Logística atual *stretch wrap*

Fonte: A Autora (2023).

Em primeira análise, é interessante pontuar algumas questões na gestão atual. As eventuais misturas de outros resíduos com o plástico e papelão no recipiente de acondicionamento, poderiam ser solucionadas com uma identificação visual dos resíduos (nome e símbolos) nos contêineres e treinamento dos operadores. Outro ponto é a mistura do plástico e papelão no acondicionamento, o ideal seria ter um recipiente para cada resíduo e fazer essa separação na origem do resíduo. Apesar do espaço da linha ser limitado, seria recomendável fazer um teste para analisar se o sacrifício do espaço é compensado pela eliminação da etapa de triagem, que economizaria tempo dos trabalhadores e, portanto, economias para a empresa.

Assim, atualmente, o resíduo do SW é vendido para reciclagem. Apesar do material já possuir seu destino final ambientalmente adequado e gerar renda para empresa, devido ao uso intenso de SW virgem pela mesma, foi levantado como oportunidade a logística reversa do material para o próprio fornecedor, em busca de preços vantajosos e utilização do *stretch wrap* reciclado, que teria menor impacto ambiental associado.

5.2.2 Prognóstico da LR do SW

Além da viabilidade tecnológica, é necessário avaliar também a viabilidade logística. Isso significa avaliar as mudanças e logísticas adicionais necessárias para a LR. Como por exemplo, necessidades extra de materiais e mão de obra, mudanças na gestão interna e externa de resíduos, como recipientes e locais de acondicionamento e armazenamento, e o transporte interno e externo.

Visando viabilizar a LR, seria necessário, em primeiro lugar, a separação adequada dos SWs dos diferentes resíduos plásticos presentes na planta. Além do SW, foram identificados outros tipos de plásticos flexíveis. Há a probabilidade dos outros plásticos também serem PE, o que, se confirmada, apesar de não possuírem as mesmas características e composição que o SW (por isso não possuem um comportamento elástico), podem ter potencial para a reciclagem em conjunto com o SW. Nesse caso, haveria a necessidade de fazer análises mais aprofundadas e testes da proporção SW e outros plásticos e da receita de extrusão mais adequada. Entretanto, para início de projeto, o foco será a separação apenas de SW, para depois viabilizar reciclagens mais complexas.

Apesar da separação parecer mais fácil e geralmente ser recomendado ser na origem (na linha quando desembalar), haveria a necessidade de, além de novos recipientes, que não tem espaço na linha, reeducar todos os milhares de funcionários de todas as linhas, de todos os turnos, sendo um esforço muito grande e com menor garantia de sucesso.

A solução encontrada foi manter a separação do plástico com o papelão em conjunto na linha, como estava, e capacitar apenas as pessoas terceirizadas que triam o material previamente ao armazenamento, ensinando a diferenciar o SW dos outros plásticos. Dessa forma, comparando o número de funcionários terceirizados que realizam essa triagem (20 pessoas) com o número de funcionários das linhas (mais de 500 pessoas), menos pessoas serão necessárias para serem treinadas e assim maior garantia de sucesso mais rápido da mudança.

Para a separação do *stretch wrap* dos outros tipos de plástico, no local de armazenamento serão adicionadas bags (Figura 28) identificadas somente para SW. A própria empresa em estudo já possui as bags de resíduo por conta de outra matéria prima, portanto sempre haverá disponível esse recipiente para armazenamento e não demanda investimento.

Figura 28 - Bag a ser utilizada para acondicionamento exclusivo do resíduo de SW



Fonte: Mercadolive (2023).

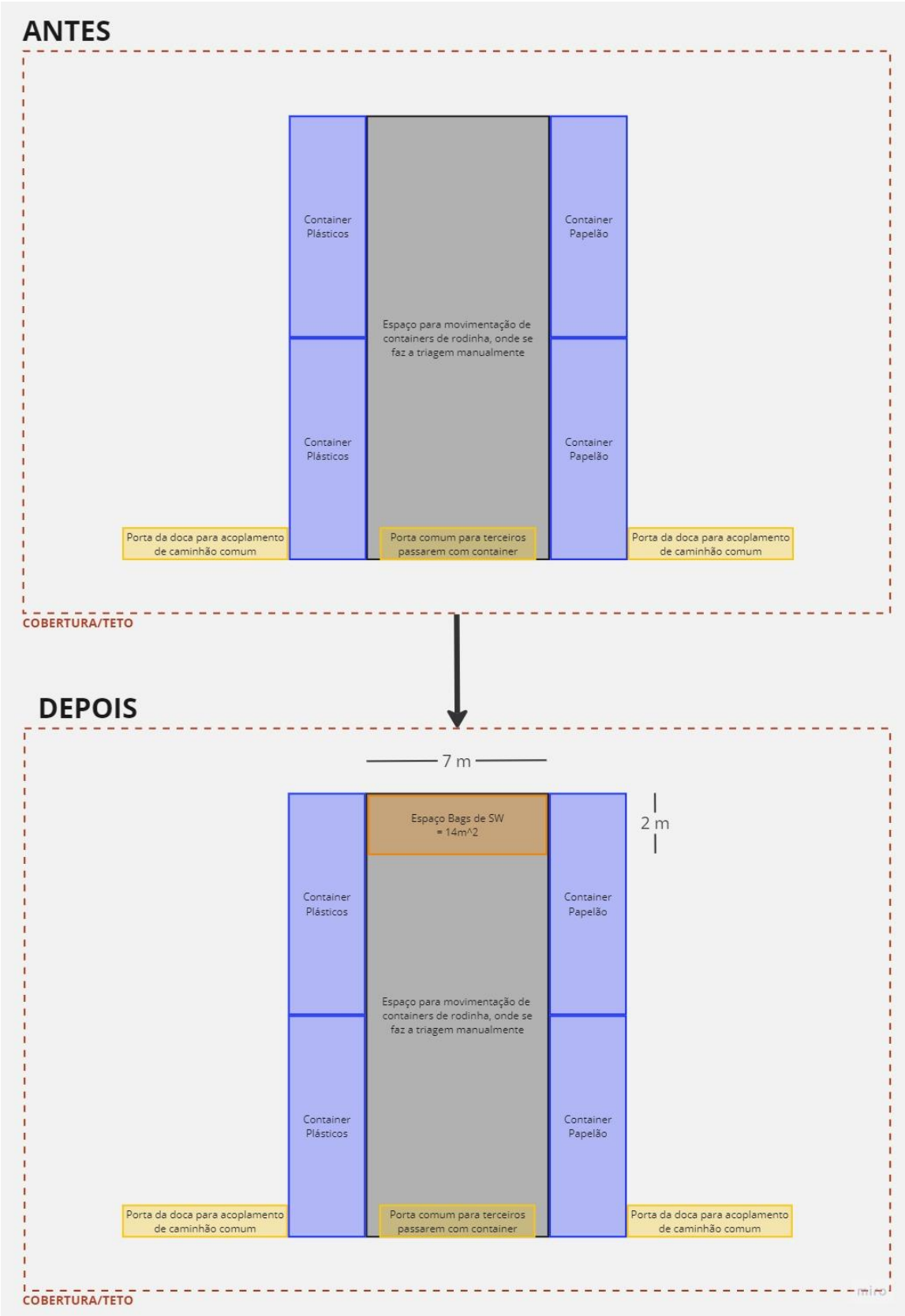
Assim, haveria que remodelar o espaço de armazenamento para as bags. Para isso, precisa-se entender a área necessária para esse armazenamento. Considerando um volume de aproximadamente 250 toneladas por ano (calculada pela soma em planilha dos MTRs), e que a planta funciona 24 h por dia, todos os dias do ano, temos uma geração média de 0,68 toneladas por dia, ou 680 kg/d.

O transporte externo dos resíduos de SW segregados e acondicionados em bags para a unidade recicladora será realizado pelo caminhão do Fornecedor Y, o mesmo veículo que entregará os rolos de SW e que atualmente, entrega outros produtos além do SW para a

empresa em estudo. Essas entregas hoje são realizadas duas vezes por semana, e estima-se que essa frequência aumentará para quatro vezes por semana para a entrega dos rolos de SW reciclado. Portanto, a área de armazenamento precisa ter capacidade mínima de dois dias de produção, ou seja, 1360kg.

Silva e Santos (2010), após 24 ensaios em amostras quarteadas de 250 kg, com o apoio de uma balança de plataforma de capacidade máxima de 150 kg e uma lona de 12m², determinam valores da densidade aparente do plástico filme: de 125 a 463 kg/m³. Considerando o menor valor, temos a geração de $680/125 = 5,44$ m³ por dia. Portanto, o armazenamento deve ter a capacidade de 10,88 m³. Levando em conta que uma bag possui dimensões de 0,90 m de comprimento por 0,90 m de largura por 1,20 m de altura (Mercadolivre; 2023), temos que 1 bag tem a capacidade de $0,9*0,9*1,2 = 0,972$ m³. Assim, será necessário um espaço para 7 bags ($10,88/0,972 = 11,19$). Logo, como uma bag ocupa $90*90 = 8100$ cm² = 0,81m² de área, temos que 7 bags ocupariam $0,81*11,19 = 9,06$ m². Dessa forma, reorganizou-se a área de armazenamento de acordo com a Figura 29.

Figura 29 - Reorganização da área de armazenamento



Fonte: A autora (2023).

Assim, o caminhão do Fornecedor Y, após desabastecer a matéria prima, trocaria de doca para o abastecimento do resíduo, no qual as bags seriam colocadas no caminhão com auxílio da paleteira (Figura 30). Na Figura 31 há um exemplo de outro resíduo que é transportado em bags no caminhão.

Figura 30 - Paleteira levando bag



Fonte: Mercadolivre (2023).

Figura 31 - Exemplo de outro resíduo em que seu transporte externo é feito em caminhão nas bags



Fonte: Mercadolivre (2023).

Como o processo de separação do SW dos outros plásticos demandaria mais tempo dos funcionários, identificou-se a necessidade de contratação de uma pessoa extra da companhia terceirizada. Já o carregamento seriam operações pontuais de poucos bags, não exigindo uma pessoa a mais dedicada somente a esta tarefa.

Assim, o caminhão do fornecedor retiraria os resíduos e os encaminharia para sua unidade recicladora. Após as etapas de reciclagem nessa unidade, os pellets reciclados são encaminhados para a unidade de fabricação de filme que produziria o *stretch wrap* reciclado. Por fim, entregaria à empresa de estudo de caso em questão, onde ficará na área de estoque até a embalagem dos pallets pela máquina aplicadora de SW.

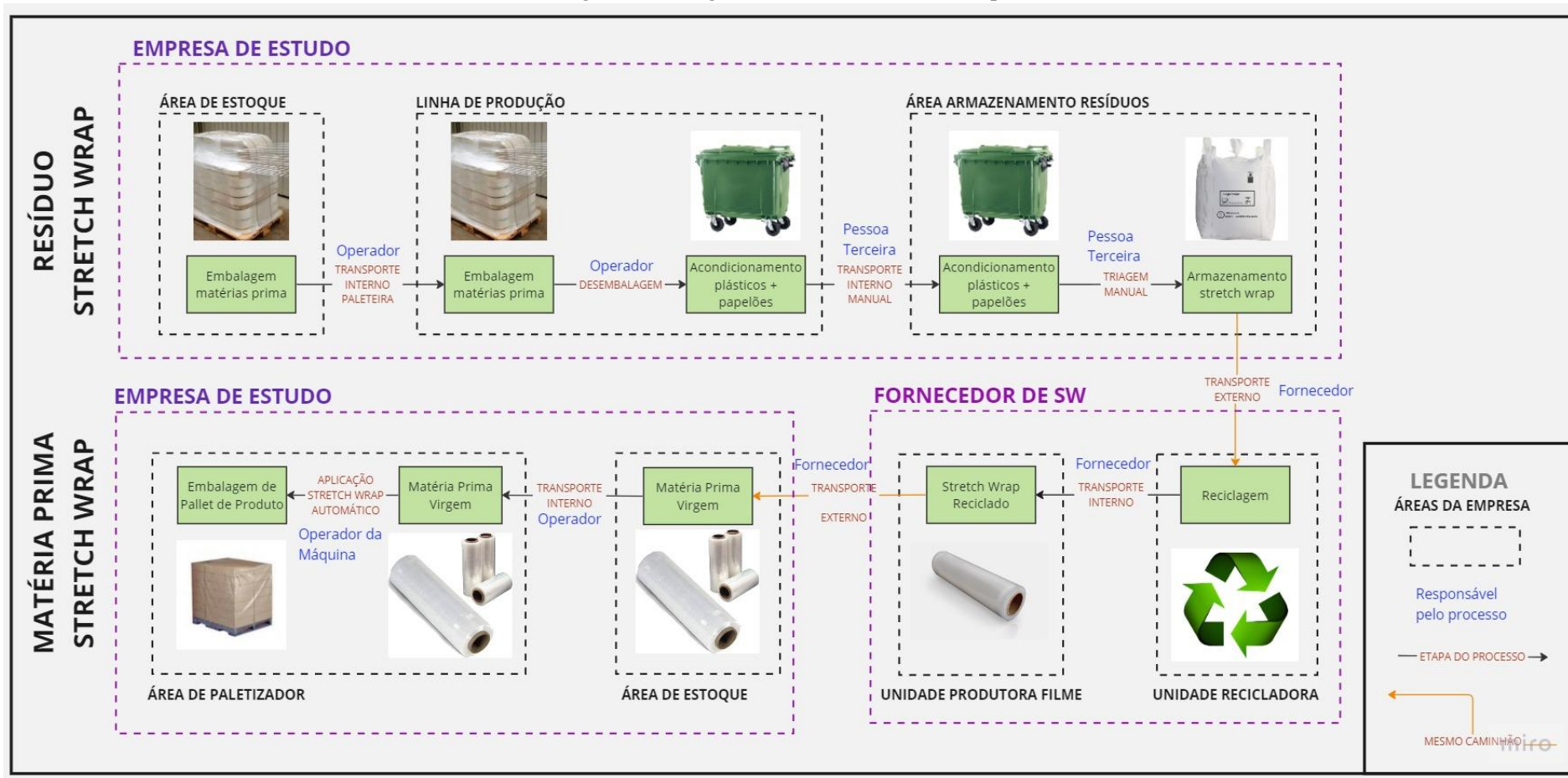
A Tabela 5 e Figura 32 representam o novo processo descrito de logística reversa.

Tabela 5– Etapas da logística e gerenciamento do resíduo SW com LR

Etapa	Descrição	Local	Responsável
Transporte Interno Estoque para a linha	Transporte da matéria prima embalada no SW por meio de paleteira	Da Área de Estoque para a linha de produção	Operador de logística
Desembalagem	Retirada do SW da matéria prima	Linha de produção	Operador da linha
Acondicionamento	Acondicionamento em container pequeno, junto de outros plásticos e papelões		
Transporte Interno linha para local de armazenamento	Transporte manual de contêiner móvel	Da linha para Área de Armazenamento	Pessoa de empresa terceirizada contratada para gestão interna de resíduos
Triagem	Separação do SW dos plásticos dos papelões	Área de Armazenamento	
Armazenamento	Armazenamento dos plásticos em bags		
Transporte externo para destinatário	Transporte dos bags em caminhão do Fornecedor Y	Da empresa produtora a Unidade Recicladora do Fornecedor Y	Fornecedor Y
Reciclagem	Transformação dos resíduos de SW em pellets	Unidade Recicladora do Fornecedor Y	
Transporte externo entre unidades	Transporte externo dos pallets da unidade recicladora a unidade produtora de filme	Da Unidade Recicladora para Unidade Produtora de Filme do Fornecedor Y	
Fabricação do Filme	Transformação dos pellets em SW reciclado	Unidade Produtora de filme do Fornecedor Y	
Transporte externo para empresa em estudo	Transporte externo dos pallets da unidade recicladora a unidade produtora de filme	Da Unidade Produtora de Filme do Fornecedor Y para empresa em estudo	

Legenda: Em destaque as mudanças para LR.

Fonte: a Autora (2023).

Figura 32 – Logística reversa de *stretch wrap*

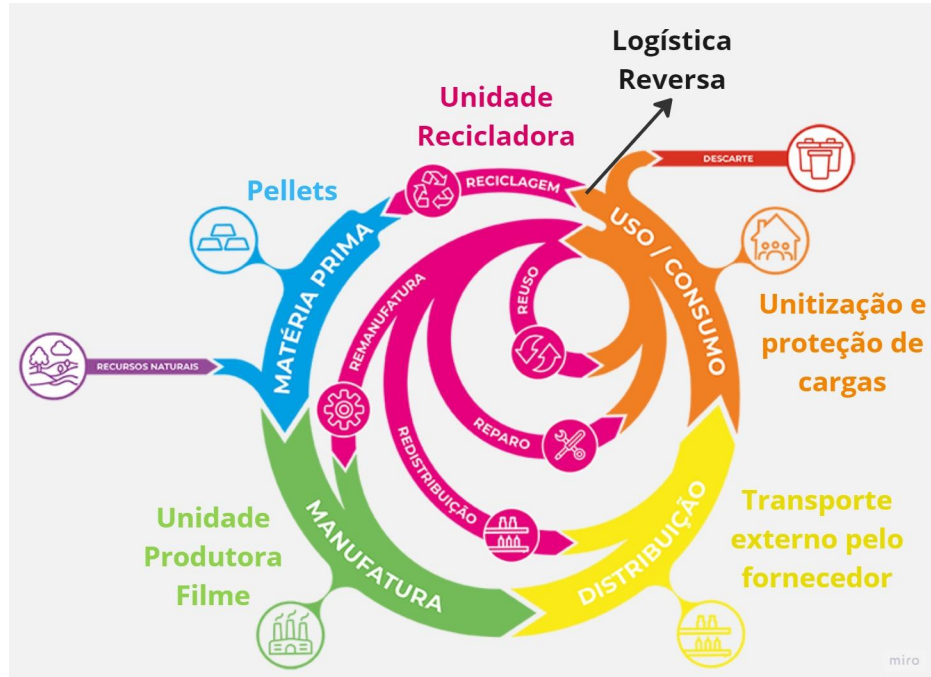
Fonte: a Autora (2023).

Assim, em resumo, as principais mudanças promovidas pela logística reversa são:

- Triagem extra do SW dos plásticos e papelões na área de armazenamento;
- Diferente recipiente de armazenamento (bags);
- Diferente disposição na área de armazenamento (Figura 29);
- Trabalho extra de operador com paleteira para abastecimento do caminhão, antes feito por coleta containerizada;
- Diferente meio de transporte externo, bags vão em caminhão comum ao invés de coleta containerizada;
- Logística Reversa: tratamento final do resíduo, que antes era feito reciclagem mista em empresa terceira, com LR recicla-se somente o SW em unidade do próprio Fornecedor Y;
- Função do material reciclado: produz-se o mesmo produto (SW) do resíduo.

Dessa forma, o resíduo do *stretch wrap*, a partir de logística reversa e reciclagem, retorna à sua função original de unitização e proteção de cargas, minimizando o uso de matéria prima virgem, cumprindo os objetivos da economia circular de minimização de resíduos, redução do uso de recursos naturais e promoção do uso eficiente de recursos por meio de circuitos fechados de produtos, componentes de produtos e materiais (Xijie *et al.*, 2023) (Figura 33).

Figura 33 – Logística reversa de *stretch wrap* no sistema de Economia Circular



Fonte: Adaptado de Ideia Circular (2023).

5.4 Viabilidade econômica e rentabilidade

Avaliadas a viabilidade técnica e logística, é necessário entender se as mudanças necessárias geram mais gastos ou custos, para saber se o projeto é vantajoso para a empresa e, assim, sustentável economicamente.

No cenário atual, o *stretch wrap* é vendido junto dos outros resíduos plásticos a uma empresa recicladora, constituindo, dessa forma, uma fonte de renda para a empresa. Já no processo de embalagem dos pallets, os SW virgens são comprados de um único “Fornecedor X” que vende a taxa específica.

Com a implantação da logística reversa, haveria ganhos e perdas econômicas. A principal economia provém de um orçamento feito com um “Fornecedor Y” do SW reciclado a partir da LR do resíduo de SW da fábrica. O preço desse SW reciclado com o material da empresa corresponde a 50% do preço do SW virgem comprado do Fornecedor X. Outra vantagem indireta econômica é de diversificar o número de fornecedores, o que cria concorrência e, conseqüentemente, pela lei da oferta e procura, preços menores, já que oferecerão um valor inferior para se valorizar frente a seu concorrente.

Já as perdas envolvem, em primeiro lugar, a perda da venda do volume de plástico para a empresa recicladora. Seja o valor do kg da venda do resíduo plástico “PR” reais/kg e considerando aproximadamente 250 toneladas de SW, haveria a perda de $250 \cdot PR = 250 \cdot PR$ reais anualmente, $250/710 = 35\%$ (710 toneladas o total de plásticos) da renda total dos plásticos (considerando que a venda por massa é igual para todos os resíduos plásticos).

Em segundo lugar, as mudanças da logística interna. Em princípio, para as mudanças logísticas haveria um custo de uma pessoa a mais da empresa terceirizada responsável pela gestão dos resíduos internos, para a separação adicional do SW dos outros plásticos. Entretanto, há um outro projeto interno da empresa que já solicitou uma pessoa extra, que poderia ficar responsável por ambos projetos. Dessa forma, não entraria no orçamento essa pessoa extra, já que já está sendo contratada de qualquer forma por outros custos. Assim, não haveria custos extras relacionados a mão de obra.

Sobre as bags utilizadas como recipientes de armazenamento, a empresa em estudo já possui bags provenientes de embalagens de uma das suas matérias primas. Assim, não haveria custos adicionais para o recipiente de armazenamento.

Sobre os custos do transporte externo, como se utilizará a viagem de volta da entrega de produtos do Fornecedor Y, não haverá também custos adicionais de transporte do resíduo de *stretch wrap* para a empresa.

Dessa forma, no balanço final, para a empresa em estudo haverá a economia de 50% do preço do *stretch wrap*, em contrapartida a perda de cerca de 35% da receita com a venda do resíduo de SW. Como o volume de compra e venda do SW é similar, considera-se M kg de massa de SW. Com isso, antes a renda com a venda do resíduo do *stretch wrap* era $M*PR$, enquanto o custo do SW virgem $M*PSW$. Com 50% de desconto no preço do SW, o custo cairia para $0,5*PSW*M$. Enquanto haveria a perda de $M*PR$ reais por deixar de vender para a recicladora.

Uma vez que o preço do kg do *stretch wrap* é aproximadamente vinte vezes mais caro que a receita gerada pela venda do seu resíduo, $PSW=20*PR$, a implantação do sistema de LR, viabilizando a compra do *stretch wrap* reciclado gerará uma economia de $9*M*PR$, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Balanço econômico antes e depois da LR

	Antes LR	Depois	Ganho/Perda
Renda venda Resíduo SW	$+M*PR$	0	$-M*PR$
Gasto compra de SW	$-M*PSW =$ $-20*M*PR$	$-0,5*M*PSW =$ $-10*M*PR$	$+0,5*M*PSW =$ $+10*M*PR$
Total	$-19*M*PR$	$-10*M*PR$	$9*M*PR$

Legenda: PSW: preço do SW (reais/kg); PR: preço do resíduo do SW (reais/kg); M = massa de material de SW (kg); $PSW=20PR$; +: renda; -: custos; .

Fonte: A Autora (2023).

6 CONCLUSÃO

O objetivo geral do presente trabalho era realizar uma análise inicial de viabilidade técnica, logística e econômica da implantação de um sistema de logística reversa de *stretch wrap* utilizado em embalagens de matéria prima industrial. De forma geral, foi possível confirmar a viabilidade inicial.

Sobre os objetivos específicos, em primeiro lugar, sobre a avaliação da possibilidade de reciclagem de *stretch wrap*, a partir de levantamento bibliográfico e contato com empresas fornecedoras, é possível concluir que ainda há pouco desenvolvimento de pesquisas científicas em universidades especificamente sobre reciclagem e testes de SW reciclado. Entretanto, há estudos sobre reciclagem de plástico filme flexível, incluindo o PE, que é a matéria prima mais comum ao SW.

Essas pesquisas destacam desafios associados ao processamento e à deterioração da qualidade do material, especialmente devido à contaminação. Devido às características intrínsecas desse material, a eliminação da contaminação apresenta maiores dificuldades, resultando no entupimento dos filtros durante a extrusão e na produção de filmes com propriedades inferiores. Além disso, o próprio processo de reciclagem contribui para a degradação do material, devido ao calor, estresse mecânico e radiações ultravioleta. Ao longo de seu ciclo de vida, o material também é suscetível à degradação fotooxidativa. Vale ressaltar que, em alguns casos, o preço do material virgem pode ser mais baixo.

Por outro lado, existem abordagens tecnológicas que apresentam soluções para aprimorar o desempenho, como a otimização do processo de reciclagem (através de triagem adicional, lavagem a quente, melhorias na extrusão e a inclusão de estabilizantes). Além disso, há avanços na formulação de misturas, incorporando resina virgem e adicionando aditivos como modificadores poliméricos e moléculas que aumentam o peso molecular. Essas inovações visam melhorar a qualidade do material reciclado e superar desafios inerentes ao processo.

Já no contexto industrial, o *stretch wrap* reciclado já é produzido e comercializado por empresas ao longo do país. Ademais, também já há o desenvolvimento de máquinas e linhas especializadas para SW. Assim, a reciclagem de *stretch wrap* é tecnicamente possível.

Sobre o processo de reciclagem na empresa fornecedora, esta possui unidade recicladora com capacidade de reciclar o *stretch wrap*. Entretanto, para confirmação da viabilidade técnica da reciclagem proveniente especificamente dos resíduos da empresa de estudo de caso em questão, incluindo análise dos possíveis problemas e soluções encontrados

na bibliografia, será realizado um teste de reciclagem de amostra do material, análise da performance na máquina aplicadora de SW e capacidade de manter o pallet estável estocando os pallets do teste por 15 dias e 1 mês, medindo posteriormente suas deformações e qualidade do produto.

Já sobre o levantamento dos processos logísticos e de gestão que precisam ser implementados, desenvolveu-se uma logística interna e externa favorável ao processo. As mudanças necessárias são: triagem extra do SW dos plásticos e papelões; diferente recipiente e disposição de armazenamento; trabalho extra de operador com paleteira para abastecimento do caminhão e diferente meio de transporte externo (caminhão comum), antes feito por coleta containerizada. Destaca-se a reutilização de bags já disponíveis na fábrica e a viagem de volta do caminhão do fornecedor como soluções para a logística reversa.

Por fim, sobre o levantamento de custos do sistema de logística reversa e análise inicial de rentabilidade, foi possível a identificação de fontes de ganhos e custos da empresa em estudo, relacionados à mudança logística e de destinação. O principal custo estaria relacionado a perda da venda para as recicladoras (35% das vendas de plástico), e o principal ganho o valor pago ao *stretch wrap* reciclado que reduziria em 50% do valor do kg de material. A partir de cálculos comparativos usando o preço da compra e venda do SW e as porcentagens de ganhos e perdas relacionadas, chegou-se no resultado que a iniciativa seria econômica para a empresa em estudo.

Portanto, no presente trabalho foi possível realizar a análise inicial de viabilidade técnica, logística e econômica da implantação de um sistema de logística reversa de *stretch wrap* utilizado em empresa de bens de consumo de grande porte. Os próximos passos na empresa para confirmação da viabilidade será a realização do teste da reciclagem dos resíduos, performance na máquina aplicadora de SW e qualidade do pallet embalado. Se concluído com sucesso, o novo processo de logística reversa será aplicado. Caso o contrário, será necessário entender se é possível aprimorar algo no processo logístico, de reciclagem ou formação do filme reciclado.

Desse modo, a implementação da logística reversa e reciclagem fecha o ciclo do resíduo de *stretch wrap*, transformando-o novamente em produto *stretch wrap*. Isso minimiza a utilização de recursos naturais virgens e prolonga a vida útil do material, caracterizando uma resposta alinhada ao conceito de economia circular. Essa abordagem representa uma solução que diminui os impactos ambientais, em comparação a economia linear, originada durante a Revolução Industrial.

REFERÊNCIAS

ABIPLAST. **Estudo Encomendado pelo Picplast Mapeia a Indústria de Reciclagem do Plástico no Brasil.** Disponível em: <https://www.abiplast.org.br/noticias/estudo-encomendado-pelo-picplast-mapeia-a-industria-de-reciclagem-do-plastico-no-brasil/>. Acesso em: 19 jun. 2020.

ABIPLAST. **Índices De Reciclagem Mecânica De Plásticos Pós-Consumo No Brasil.** Disponível em: https://www.abiplast.org.br/publicacoes/pesquisa_reciclagem_picplast/. Acesso em: 08 dez. 2022.

AMERICANSURPLUS. **Packing Your Pallet.** Disponível em <https://www.americansurplus.com/the-importance-of-properly-securing-your-pallets/>. Acesso em: 8 nov. 2023.

ATLANTIC PACKAGING. Disponível em <https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7115519776193458176/>. Acesso em: 31 out. 2023.

BACH, A. T.; LAWISCH, A. A.; MÄHLMANN, C. M.; KIPPER, L. M.. **RECICLAGEM Mecânica de Resíduos de Pp/Pe Filme.** Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias Departamento de Química e Física – UNISC. Santa Cruz do Sul – RS. 2003

BASHIRGONBADI, A.; LASE, I. S.; DELVA, L.; GEEM,- K. M. V.; MEESTER, S.; RAGAERT, K.. **Quality evaluation and economic assessment of an improved mechanical recycling process for post-consumer flexible plastics.** Department of Green Chemistry and Technology, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University, Campus Kortrijk, Belgium. 29 August 2022

BEKHTA, P.; LYUTYY, P.; HIZIROGLU, S.; ORTYNSKA, G.. **Properties of Composite Panels Made from Tetra-Pak and Polyethylene Waste Material.** Ukrainian National Forestry University & National Forestry and Wood Technology University of Ukraine. Ucraina, Junho de 2016

BEKHTA, P.; LYUTYY, P.; ORTYNSKA, G.. **Properties of Veneered Flat Pressed Wood Plastic Composites by One-Step Process Pressing.** Ukrainian National Forestry University & National Forestry and Wood Technology University of Ukraine. Ucraina, Dezembro de 2017

BRASIL. **Decreto Nº 11.043.** Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. 13 DE ABRIL DE 2022

BRASIL. **Lei nº 12.305.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2 de Agosto de 2010

BRIASSOULIS, D.; HISKAKIS, M.; BABOU, E.. **Technical specifications for mechanical recycling of agricultural plastic waste.** Agricultural University of Athens, Agricultural Engineering Department, 75 Iera Odos, 11855 Athens, Greece. 3 April 2013

CENTROCINCO. **Filme Stretch Reciclado PCR.** Disponível em: <https://www.centrocinco.com.br/filme-stretch-reciclado.php>. Acesso em: 31 out. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **O que é economia linear?**. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-que-e-economia-linear#:~:text=A%20economia%20linear%2C%20%C3%A0s%20vezes,tornam%20res%C3%ADduos%20e%20s%C3%A3o%20desperdi%C3%A7ados>. Acesso em: 5 ago. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **O diagrama de borboleta: visualizando a economia circular.** Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-diagrama-de-borboleta>. Acesso em: 5 ago. 2023.

EREMA. **Innovative In House Plastic Film Recycling Machine.** Disponível em <https://blog.erima.com/plastic-film-recycling-machine>. Publicado 24 Dezembro de 2019

ESPALIAT, Mauricio. *Economía Circular y Sostenibilidad: Nuevos enfoques para la creación de valor (Spanish Edition)* (p. 7).

FERREIRA, D.M. P.; RABELO, F. C.. **Logística Reversa e Tributação como Fator Crítico de sua Implantação.** Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/artigos/logistica-reversa-e-tributacao-como-fator-critico-de-sua-implantacao/1152651219> . 2020.

DELGADO, C.; STENMARK, A..**Technological progress in plastics recycling.** M. Kozłowski (Ed.), *Plastics Recycling in Europe*, Wrocław, Poland, 2006

DING, L.; WANG, T.; CHAN, P. W.. **Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review.** *Journal of Cleaner Production*, Volume 388, 15 Fevereiro de 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, M. E.; MARINS, F. A. S.. **Reverse logistics in a glass lamination industry: a case study.** Universidade Estadual Paulista, Departamento de Engenharia de Produção. São Paulo, Brasil. Dezembro de 2006.

GUIROLA, C.. **An Alternative to Stretch Wrap Using Triple Bottom Line.** California Polytechnic State University, San Luis Obispo, June 8, 2010

HOPEWELL, J.; DVORAK, R.; KOSIOR, E.. **Plastics Recycling: Challenges and Opportunities.** Eco Products Agency, 166 Park Street, Fitzroy North 3068, Australia; Nextek Ltd, Level 3, 1 Quality Court, Chancery Lane, London WC2A 1HR, UK 2008

HORODYTSKA, O.; VALDÉZ, F.J.; FULLANA, A.. **Plastic flexible films waste management** – A state of art review *Waste Manag.*, vol. 77 . 2018

IDEIA CIRCULAR. **O que é Economia Circular?** Disponível em: <https://ideiacircular.com/economia-circular/>. Acesso em: 5 ago. 2023.

IPBES. 2019. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. 4. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES Secretariat, Bonn, Germany. p. 4 do Sumário.

JAMES, A. R.; SBARSKI, I.; MASOOD, S. H.; KOSIOR, E.. **Thermal and melt rheological behaviour of composites produced from waste paper and plastic**. Journal of Polymer Engineering, Volume 27, Issue: 1, Page: 55-74. Berlin, Germany, 2007

JBEMBALAGENS. **Contentor de Resíduos C-1000**. Disponível em <https://www.jbembalagens.com.br/contentor-de-residuos-c-1000>. Acesso em: 8 nov. 2023.

LETUNIVSKA, N.; OFFEI, F. A.; JUNIOR, O. A.; LYULYOV,O.; PIMONENKO, T.; LSLIMASEG. **Filme stretch para paletização**. Disponível em <https://www.lslimaseg.com.br/filme-stretch-paletizacao>. Acesso em: 8 nov. 2023.

LONGO, P.. **Estudo de suporte ao desenvolvimento de um produto alternativo ao filme plástico de acondicionamento de cargas em paletes**. Universidade do Porto. Porto, 2020.

KWILINSKI, A.. **Green Supply Chain Management: The Effect of Procurement Sustainability on Reverse Logistics**. Department of Marketing, Sumy State University, 2, Rymkoho-Korsakova St., 40007 Sumy, Ukraine, 3 Agosto de 2023

MANTIA, F. P.. **Polymer Mechanical Recycling: Downcycling or Upcycling?** Dipartimento di Ingegneria Chimica dei Processi e dei Materiali, Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo, Italy. 2004

MAPPLASTICOS. **Filme stretch reciclado**. Disponível em <https://www.mapplasticos.com.br/produtos/filme-stretch/filme-stretch-reciclado>. Acesso em: 11 nov. 2023.

MEERT, J.; IZZO, A.; ATKINSON, F. D.. **Impact of plastic bag bans on retail return polyethylene film recycling contamination rates and speciation**. State University of New York – University at Buffalo, Department of Civil, Structural, and Environmental Engineering, Buffalo, NY 14260, United States of America. 16 September 2021.

MERCADO LIVRE. 10 Saco Big Bag Material Resistente Base Fechada 1000kg C1. Disponível em https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2623481699-10-saco-big-bag-material-resistente-base-fechada-1000kg-c1-_JM. Acesso em: 10 nov. 2023.

MERCADOLIVRE. **Filme Stretch Manual 3kg 50cm De Largura X 200 M Reciclado**. Disponível em:

https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-3265355957-filme-stretch-manual-3kg-50cm-de-la-rgura-x-200-m-reciclado-_JM?matt_tool=14804773&matt_word=&matt_source=google&matt_campaign_id=14302215543&matt_ad_group_id=130580035590&matt_match_type=&matt_network=g&matt_device=c&matt_creative=542969737626&matt_keyword=&matt_ad_position=&matt_ad_type=pla_with_promotion&matt_merchant_id=741970065&matt_product_id=MLB3265355957&matt_product_partition_id=1805032147892&matt_target_id=pla-1805032147892&gclid=CjwKCAiA6byqBhAWEiwAnGCA4ALDKOFjEDqucCNzWHAqak5aPM_zF5TjdgSNPmuglkeFQMRj6OS-rBoCafoQAvD_BwE. Acesso em: 11 nov. 2023.

MORE RECYCLING. 2017 National Post-consumer Plastic Bag & Film Recycling Report. American Chemistry Council. Disponível em: <https://plastics.americanchemistry.com/2017-National-Post-Consumer-Plastic-Bag-and-Film-Recycling-Report.pdf>. 2019

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Página Principal. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>. Acesso em: 5 ago. 2023.

NOVÁK, I.; FLORIÁN, S.. Self-adhesive stretching polyethylene foil. Elsevier, Bratislava, 1997.

NOVAOSASCO. Caçambas para transporte de lixo e resíduos industriais. Disponível em <http://www.novaosasco.com.br/cacambas-roll-on-off>. Acesso em: 8 nov. 2023.

OLIVEIRA, Uziel Nunes. Economia Circular: Uma Revolução Industrial visando o Desenvolvimento Sustentável. Universidade do Vale do Itajaí - UNIVALI. Itajaí-SC, julho de 2019.

PARK, J.; HORVATH, L.; WHITE, M.; ARAMAN, P.; BUSH, R. J.. The influence of stretch wrap containment force on load bridging in unit loads. Packaging Technology and Science. Volume 31, Pages 701-708. November 2018

HOU, P.; XU, Y.; TAIEBAT, M.; LASTOSKIE, C.; MILLER, S. A.; XU, M.. Life cycle assessment of end-of-life treatments for plastic film waste. University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA, 10 de Novembro de 2018.

PLASTIGAUR. Stretch hood. Disponível em: <https://www.plastigaur.com/en/solutions/tertiary-packaging/stretch-hood/>. Acesso em: 19 ago. 2023.

POLYSTAR. Stretch film Recycling Machine. Disponível em https://www.polystarco.com/en/products_i.Stretch_film_Recycling_Machine.html. Acesso em: 31 out 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. O que é Logística Reversa. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/logistica-reversa/#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20Log%C3%ADstica%20Reversa,e%20embalagens%20no%20p%C3%B3s%20consumo>. Acesso em: 12 ago. 2023.

PRIETO-SANDOVAL, V.; JACA, C.; ORMAZABAL, M.. **Towards a consensus on the circular economy**. University of Navarra, TECNUN, Industrial Management Department, San Sebastian, Spain. 28 de Dezembro de 2017

RESNITZKY, M. H. C.; GRANDER, G.; SILVA, L. F.; GONZALEZ, E. D. R. S.. **Innovation projects of packaging recycling to a circular economy**. Sustainable Operations and Computers, Volume 2, 2021, Pages 115-121.

ROCHA, P. M. F.. **Estudo das Propriedades do Filme stretch produzido com polietileno linear de baixa densidade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013

RSE USA. **Film Recycling Investment Report**. Disponível em: http://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2017/09/FilmRecyclingInvestmentReport_Final.pdf. 2017

RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W.. **Recycling in Brasil: Paper and Plastic Supply Chain**. MDPI. 29 de Agosto de 2017.

SÃO PAULO. **Lei N° 12.300**. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. São Paulo, 16 DE MARÇO DE 2006

SÃO PAULO. **Resolução SMA N° 45**. Define as diretrizes para implementação e operacionalização da responsabilidade pós consumo no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. 23 DE JUNHO DE 2015

SBPALLET. **Tipos de racks metálicos para estoques**. Disponível em <https://www.sbpallet.com.br/tipos-de-racks-metalicos-para-estoques/>. Acesso em: 26 nov. 2021.

SCHULTE, A.; Kampmann, B.; GALAFTON, C.. **Measuring the Circularity and Impact Reduction Potential of Post-Industrial and Post-Consumer Recycled Plastics**. Fraunhofer Institute for Environmental, Safety and Energy Technology UMSICHT, 46047 Oberhausen, Germany. 10 August 2023

SILVA, M. C.; SANTOS, G.. **Densidade aparente de resíduos sólidos recém coletados**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará- IFCE, Fortaleza-CE, 25 de Outubro de 2010

SINGH, J. *et al.*. **The Effect of Stretch Wrap Prestretch on Unitized Load Containment**. Packaging Program, Cal Poly State University, San Luis Obispo, CA, USA. 16 Abril de 2014

SINIR. **O que é logística reversa?**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/perfis/logistica-reversa/logistica-reversa/>. Acesso em: 12 ago. 2023.

SOUZA, E. D.; HAMMES, G.; RODRIGUEZ, C. M. T.. **Barreiras Na Implementação Da Logística Reversa Nas Empresas Catarinenses**. Universidade Federal de Santa Catarina. 24 de Agosto de 2018

STRETCHFILM. **Filme Stretch Reciclado Preço.** Disponível em <https://www.stretchfilm.com.br/produtos/filme-stretch/filme-stretch-reciclado-preco>. Acesso em: 11 nov. 2023.

SWIFTPAK. **What are the most common pallet wrapping mistakes and how to avoid them.** Disponível em <https://www.swiftpak.co.uk/insights/what-are-the-most-common-pallet-wrapping-mistakes-and-how-to-avoid-them>. 17 de Fevereiro de 2021

WAINER, M. V.. **Stretch Film Properties–Effects Of Equipment And Process Variables.** Journal Of Plastic Film & S Heeting, VOL. 18 Outubro de 2002

WEETMAN, Catherine. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa.** Autêntica Business.

XIJIE, J.; RIM, G.; AN, C.. **Some Methodological Issues in Assessing the Efforts for the Circular Economy by Region or Country.** Gwang-Nam Rim, Statistics Department, Faculty of Economics, Kim Il Sung University, Taesong District, Pyongyang 00850, Democratic People's Republic of Korea, 8 Julho de 2023.

YAO, Z.; SEONG, H. J.; JANG, Y.. **Environmental toxicity and decomposition of polyethylene.** Division of Applied Life Science (BK21), Department of Applied Life Chemistry, Institute of Agriculture & Life Science (IALS), Gyeongsang National University, Jinju, Republic of Korea, 3 Agosto de 2022

ZAMANI, Z.; TALEGHANI, M.; HOSEINI, S. B.. **Courtyards as solutions in green architecture to reduce environmental pollution.** University of Tehran, Iran, 1 Novembro de 2011

ZOEPLASTICOS. **Filme Stretch Reciclado.** Disponível em <https://zoeplasticos.com.br/?p=56>. Acesso em: 11 nov. 2023.