



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM ENGENHARIA
QUÍMICA



Estágio Atual e Desafios da Reciclagem Mecânica de Plásticos de Engenharia no Brasil

Autor: Guilherme Bianchin de Camargo

Orientador: Nilson Romeu Marcílio

Coorientador: Maurício Jaroski

Porto Alegre, março de 2023

Autor: Guilherme Bianchin de Camargo

Estágio Atual e Desafios da Reciclagem Mecânica de Plásticos de Engenharia no Brasil

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientador: Nilson Romeu Marcílio

Coorientador: Maurício Jaroski

Banca Examinadora:

Doutor, Pedro Melo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Mestre, Solange Stumpf, MaxiQuim Chemical Business and Intelligence

Porto Alegre

2023

RESUMO

O tratamento de resíduos sólidos no Brasil e os impactos ambientais da produção de plásticos estão cada vez sendo mais enfocados como tópicos preocupantes. Uma das classes de resíduos sólidos menos reciclados hoje são os plásticos de engenharia e esse trabalho tem por objetivo descrever o estado atual desse mercado e estimar o volume de material gerado, além de definir os principais desafios da reciclagem mecânica desses materiais. Para isso, foram analisados bancos de dados governamentais, de consultorias especializadas, entidades, além de pesquisa primária com executivos e especialistas do setor. Foi feita também uma análise qualitativa das metas e objetivos de sustentabilidade das principais empresas dos setores demandantes de plásticos de engenharia. A partir da estimativa de volume gerado foi encontrado um índice de reciclabilidade de plásticos de engenharia pós consumo reciclados de 7,4%. Com relação aos plásticos de engenharia pós indústria não são divulgados dados precisos, porém pela pesquisa primária entende-se que quase 100% desse material é reciclado, por conta do seu valor agregado e facilidade de processamento. Sobre as metas de reciclagem é possível perceber que o setor de eletroeletrônicos é o que tem o maior enfoque ambiental na parte de plásticos, com o menor enfoque sendo o setor automotivo, muito por conta dos tempos de vida dos produtos e os principais materiais que os compõe. Os principais problemas relatados pelos especialistas e empresários sobre o pós consumo foram a necessidade de uma estruturação da cadeia de reciclagem, pois uma das dificuldades é a capacitação e investimentos em empresas de reciclagem e cooperativas para que possam separar esses materiais. Além disso o custo do processamento e logístico pesam nesse setor porque é difícil conseguir acesso a grandes quantidades de material pós consumo. Para sanar esses problemas a troca de materiais de engenharia por plásticos commodities adicionados em aplicações de menor necessidade mecânica e térmica pode ser uma solução. A elaboração de sistemas de logística reversa de ciclo aberto para levar esses materiais para setores como utilidades domésticas ou na adição de um percentual de material reciclado em material virgem também são possíveis.

Palavras-chave: *Reciclagem mecânica, Plásticos de engenharia, Análise de mercado, Logística Reversa.*

ABSTRACT

The treatment of solid waste in Brazil and the environmental impacts of plastic production are increasingly being focused as topics of concern. One of the classes of solid waste less recycled today are the engineering plastics and this work aims to describe the current state of this market and estimate the volume of material, besides defining the major challenges of mechanical recycling of these materials. Therefore, government databases, specialized consultants, and entities were analyzed, in addition to primary research with executives and specialists in the sector. A qualitative analysis of the sustainability goals and objectives of the main companies in the sectors that demand engineering plastics was also performed. From the estimated volume generated, a recyclability rate of 7.4% was found for post-consumer recycled engineering plastics. With regard to post-industrial engineering plastics, precise data are not disclosed, but from primary research it is understood that almost 100% of this material is recycled, due to its added value and ease of processing. About the recycling targets it is possible to see that the electro-electronic sector is the one with the greatest environmental focus on the plastics part, with the automotive sector being the smallest, largely due to the product lifespan and the main materials it is composed of. The main problems reported by the specialists and entrepreneurs about the post-consumption were the need to structure the recycling chain, because one of the difficulties is the qualification and investments in recycling companies and cooperatives so that they can separate these materials. Besides, the processing and logistic costs are a heavy burden in this sector because it is difficult to get access to large quantities of post-consumer materials. To solve these problems the exchange of engineering materials for additivated commodity plastics in applications with lower mechanical and thermal requirements can be a solution. The elaboration of open-loop reverse logistics systems to bring these materials to sectors such as housewares or the addition of a percentage of recycled material in virgin material are also possible.

Keywords: *Mechanical recycling, Engineering Plastics, Market Analysis, Reverse logistics*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Densidade de plásticos comumente utilizados no setor	16
Figura 2: Fluxograma do caminho dos resíduos sólidos cadeia de reciclagem.....	17
Figura 3: Composição dos resíduos sólidos gerados no Brasil	19
Figura 4: Relação entre o número de cooperativas por estado	20
Figura 5: Gráfico de origem de resíduo plástico por região	22
Figura 6: Relação entre consumo pós consumo e pós indústria por resina	22
Figura 7: Origem do material reciclado no Brasil	23
Figura 8: Importação e exportação de polímeros de engenharia de janeiro de 2021 a janeiro de 2023	26
Figura 9: Gráfico de setores consumidores de transformados com segregação por tempo de vida.	29
Figura 10: Gráfico de produção de veículos de janeiro de 2018 a dezembro de 2022.....	33
Figura 11: Gráfico de índice de produção de janeiro de 2018 a dezembro de 2022	33
Figura 12: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem do setor de Eletrodomésticos	35
Figura 13: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem do setor Automotivo	36
Figura 14: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem para o setor Eletroeletrônico.....	36
Figura 15: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “de que forma esses resíduos chegam à empresa (sucata, moído, etc)”	40
Figura 16: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “Caso realize um processo de separação, como ele é feito?”	40
Figura 17: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “Qual o volume de resíduos plásticos de engenharia que trabalha mensalmente?”	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumo de resíduo plástico reciclado no Brasil por resina.	21
Tabela 2: Perdas no processo da reciclagem dos resíduos plásticos por resina	23
Tabela 3: Segregação de materiais utilizados por setor	29
Tabela 4: Geração de resíduos plásticos provenientes do setor eletroeletrônico.....	34
Tabela 5: Respostas dos questionários aplicados.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABS – Acrilonitrila butadieno estireno

ANFAVEA – Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores

ANCAT – Associação Nacional dos Catadores.

MEI – Micro Empreendedor Individual

MTR – Manifesto de Transporte de Resíduo

PA – Poliamida

PBT – Polibutadieno tereftalato

PC – Policarbonato

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

PEBD – Polietileno de Baixa densidade

POM – Poliacetal

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PSAI – Poliestireno de alto impacto

PSGP – Poliestireno “General Purpose”

SINIR – Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Revisão Bibliográfica	11
2.1	Os plásticos de engenharia	11
2.1.1	Poliestireno (PS)	11
2.1.2	Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)	11
2.1.3	Poliâmidas (PA)	12
2.1.4	Poliaramidas	12
2.1.5	Poliacetais (POM)	12
2.1.6	Policarbonatos (PC)	12
2.2	Gestão de resíduos sólidos e economia circular.	13
2.3	Reciclagem mecânica	14
2.3.1	Definições e estado atual da reciclagem mecânica	14
2.3.1	Reciclagem mecânica no Brasil	14
2.4	Técnicas de separação utilizadas na reciclagem no Brasil	15
2.4.1	Segregação por produto.	15
2.4.2	Segregação por queima.	15
2.4.3	Segregação por densidade.	15
2.4.4	Segregação por bancada não especializada.	16
2.5	Fluxo de material reciclado pós segregação no Brasil.	16
2.6	Legislação da reciclagem no Brasil	17
2.6.1	Política Nacional de Resíduos Sólidos	17
2.6.2	Alterações recentes relevantes ao setor.	18
2.7	Controle e acompanhamento da reciclagem mecânica no Brasil	18
2.7.1	ABIPLAST	18
2.7.2	O gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil	19
2.8	Disposição atual do mercado	20
2.9	Principais setores demandantes	24
2.9.1	Setor automotivo	24
2.9.2	Setor de eletroeletrônicos e eletrodomésticos.	24
3	Metodologia	25
3.1	Pesquisa secundária.	25
3.2	Relação de importação e exportação de plásticos de engenharia	25
3.3	Estimativa de volume de plástico de engenharia utilizado no Brasil	26
3.3.1	Principais usos	26
3.3.2	Principais setores demandantes	26
3.3.2.1	Setor Automotivo.	26
3.3.2.2	Setor de eletrodomésticos.	28
3.3.3	Maiores empresas de cada setor	29
3.4	Análise de metas de reciclagem e objetivos de sustentabilidade.	30

3.5	Pesquisa primária com empresários do setor da reciclagem	30
3.5.1	Entrevistas com especialistas do setor.	30
3.5.2	Definição de escopo de empresas a serem entrevistadas.	31
3.5.3	Meio de contato com as empresas selecionadas.	31
3.5.4	Elaboração do questionário para os especialistas e empresas.	32
3.6	Consolidação das respostas dos questionários.	32
4	Resultados e discussão	33
4.1	Estimativa de volume de material reciclado no Brasil.	33
4.1.1	Setor automotivo.	33
4.1.2	Setor de eletrodomésticos e eletroeletrônicos.	33
4.1.3	Índice de reciclabilidade estimado e comparativo de volumes	35
4.2	Análise de Metas e Objetivos voltados para reciclagem de empresas dos setores analisados.	35
4.3	Pesquisa primária com especialistas do setor.	37
4.3.1	Entrevista com o Eng. Maurício Jaroski	37
4.3.2	Entrevista com a Eng. Solange Stumpf	38
4.3.3	Entrevista com Dr. Júlio Harada.	38
4.4	Pesquisa primária com empresas do setor.	39
4.5	Relação entre reciclagem de plásticos de engenharia e outros polímeros.	41
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	43
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A	47
	ANEXO B	48

1 Introdução

Em um país com uma quantidade tão grande de lixões e de geração de resíduos sólidos, juntamente com a dificuldade logística de um país continental, a implementação e otimização de processos de tratamento de resíduos se mostra cada vez mais necessária. Da compostagem à reciclagem, diversos processos existem para lidar com diferentes resíduos sólidos, porém não são sempre aplicados, especialmente para materiais que necessitam de um processamento maior.

Desde o desenvolvimento da baquelite, por Leo Baekeland em 1909, os plásticos se tornaram cada vez mais presentes na vida cotidiana, para as mais diversas aplicações. Tão presente que há anos esse resíduo se mostra um desafio econômico, ambiental e de processos, tendo em vista a grande quantidade de polímeros diferentes utilizados hoje em dia. Segundo a ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico) (2022). Os maiores volumes de material reciclado hoje no Brasil são de polipropileno (PP) e polietileno (PE), resinas que já tem um processo de reciclagem bem desenvolvido.

O desenvolvimento de polímeros, porém, avançou ao ponto de produzir plásticos com propriedades físico-químicas capazes de substituir ligas metálicas e outros materiais, são os chamados plásticos de engenharia. Essa denominação agrega uma grande quantidade de resinas e suas blendas, cujas quantidades de resíduo geradas ainda não são tão grandes quanto o PP e o PE, porém possuem um alto valor agregado.

Em 2010, a lei 12.305/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que tem o objetivo de reduzir e prevenir a geração de resíduos por meio da criação de políticas e estratégias que visam à redução, reutilização e reciclagem de resíduos, tanto industriais como de pós-consumo (CONKE, L.; NASCIMENTO, E.; 2018). Apesar disso, existe hoje uma dificuldade do setor em trabalhar com o resíduo de plásticos de engenharia, com empresas que não conseguem realizar a reciclagem desse material e/ou fabricantes que não utilizam esse material reciclado.

Este trabalho tem por objetivo analisar os desafios da reciclagem mecânica de plásticos de engenharia no Brasil, buscando compreender o estado do processamento desses polímeros no mercado. Será feito também uma análise de cada elo da cadeia de valor desses plásticos, para que seja possível compreender melhor as dificuldades, gargalos e perdas do mercado, além de dimensionar os volumes gerados desses materiais no Brasil. Será feita uma análise também dos objetivos e metas referentes à economia circular e reciclagem das principais empresas consumidoras de plásticos de engenharia.

Será também realizada uma pesquisa com dados primários, cedidos pela Maxiquim – Consultores e Associados, empresa de análise de mercado voltada para a indústria química e de polímeros. Serão ainda realizadas entrevistas com especialistas do setor para verificar possíveis inviabilidades técnicas da reciclagem de algum polímero para algum setor específico.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Os plásticos de engenharia

Os plásticos de engenharia são definidos como um grupo de polímeros sintéticos de alta performance com propriedades diferenciadas. Por conta de tais propriedades, esses materiais podem ser empregados em usos onde estejam sujeitos a impacto, vibração, estresse mecânico, altas temperaturas ou a outros tipos de ambientes que possam degradar com facilidade os polímeros convencionais. Exemplos aplicados são: peças mecânicas, componentes estruturais ou peças de precisão. Esses materiais encontraram grande valor na indústria de eletrônicos e automobilística, principalmente como substitutos de metais, já que a resistência a corrosão, a leveza e o custo são muito interessantes para esses setores (Applied Plastics Engineering Handbook, 2017).

Nesse trabalho serão discutidos o poliestireno (PS), a acrilonitrila butadieno estireno (ABS), as poliamidas (PA), as poliaramidas, os poliacetais (POM) e os policarbonatos (PC). O avanço do desenvolvimento de materiais poliméricos criou vários outros compostos categorizados como plásticos de engenharia, tanto que o PS e o ABS se tornaram polímeros mais simples. De todo modo, esses serão considerados visando uma perspectiva voltada para a reciclagem, a qual é um setor que trabalha com volumes muito pequenos de plásticos altamente especializados, sendo os citados os que mais aparecem de acordo com pesquisa primária realizada pelo autor.

2.1.1 Poliestireno (PS)

O poliestireno foi primeiro polímero comercialmente viável, com uma planta inaugurada na Alemanha em 1930, é atualmente produzido em três formas mais comuns: o PS GP (general purpose) ou cristal, o EPS (expanded polystyrene) e o PS HI (high impact). O PS GP possui como principais características sua transparência e fácil coloração, com usos mais comuns na indústria de embalagens alimentícias e para eletrodomésticos. O EPS é mais conhecido pelo nome comercial Isopor®, da empresa BASF, com suas aplicações voltadas para copos térmicos, *coolers* e proteção em transporte. No caso do PS HI as aplicações são muito parecidas com as do PS GP, porém voltadas para usos onde uma maior resistência a impactos seja desejada, apesar do elevado custo agregado para a produção comparativamente (Plásticos de Engenharia – Tecnologia e Aplicações, 2005).

2.1.2 Acrilonitrila butadieno estireno (ABS)

Usualmente intercambiável em aplicações com o PS HI, o ABS é amorfo e apresenta uma densidade baixa, especialmente comparando suas ótimas propriedades mecânicas. É muito utilizado na indústria nas carcaças de computadores, impressoras e televisores, apesar de ter um custo mais elevado que o PS HI. É muito utilizado em blendas com o policarbonato (Plásticos de Engenharia – Tecnologia e Aplicações, 2005).

2.1.3 Poliamidas (PA)

A poliamida, tendo seu primeiro exemplar o Nylon 6,6, criado na DuPont em 1928 por Wallace Carothers, é um polímero já estruturado no mercado, fabricado a partir da reação de condensação de hexametilenodiamina (HDMA). Foi uma revolução na indústria do plástico por suas características de resistência à temperatura, rigidez e tenacidade. Muito usado em aplicações mecânicas e como fibra, tem algumas complicações considerando o processo de moldagem, por conta da viscosidade do material e do seu ponto de transição vítrea (Applied Plastics Engineering Handbook, 2017).

2.1.4 Poliaramidas

O polímero poliaramida, também popularizado pela empresa DuPont sob o nome comercial de Kevlar®, é mais conhecido pela utilização na produção de coletes à prova de balas. Possui uma temperatura de transição vítrea (T_g) considerada alta, alcançando os 280°C. Usado também em fibras de aparelhos retardantes de chama, resistentes a altas temperaturas, isolamentos elétricos, compósitos em equipamentos esportivos de alto padrão e em partes de transmissão automotiva (Applied Plastics Engineering Handbook, 2017).

2.1.5 Poliacetais (POM)

Os poliacetais são produzidos a partir da polimerização do formaldeído e foram o introduzidos no mercado em 1957 como plásticos de engenharia, também conhecidos como polioximetilenos (POM). Têm temperaturas vítrea de -75°C e de fusão de 181°C, além de serem cristalino. O POM é utilizado na indústria como um substituto de partes metálicas, como em tubulações, bombas, engrenagens e produtos industriais que necessitem de retenção de torque e fibras fortes. Não aguentam altas temperaturas já que têm uma tendência a degradar (Applied Plastics Engineering Handbook, 2017).

2.1.6 Policarbonatos (PC)

Em ordem cronológica foi o terceiro grupo de plásticos de engenharia a ser produzido, criado por D.W. Fox na General Electric Company (atual Sabic Innovatice Plastics) e por H. Schnell na Bayer AG de forma independente. São formados a partir da polimerização de diversos bisfenóis, sendo o mais comercialmente utilizado o PC vindo de Bisfenol A (BPA). O PC baseado em BPA é amorfo, com uma temperatura vítrea de 150°C. Possui propriedades muito vantajosas, com uma alta resistência a impacto, transparência, boa resistência a calor, capacidade de atuar como retardante de chamas, boas propriedades elétricas e alta estabilidade química. Essa grande combinação de características permite que o PC e suas blendas sejam utilizados em uma vasta gama de aplicações. A sua transparência por exemplo permite que seja utilizado em faróis automotivos, lâmpadas, garrafas de água, entre outros. Além disso, por ser amorfo, é possível a inserção de cargas dentro do polímero, como cargas minerais e fibra de vidro. No caso específico da fibra de vidro é uma combinação comum no

setor automotivo para um aumento de resistência térmica e mecânica, onde peças de polímeros de engenharia substituem peças metálicas (Plásticos de Engenharia – Tecnologia e Aplicações, 2005)

2.2 Gestão de resíduos sólidos e economia circular.

Como todo processo produtivo, a produção de quaisquer produtos à base de plástico interage com o meio ambiente, desde a retirada de matéria prima, resíduos de processo, geração de energia e, ao fim da vida útil, no descarte. Em uma sociedade de manufatura artesanal, em que os processos são lineares, ou seja, a matéria prima entra na linha de produção e o produto é apenas descartado após o uso, isso não é um problema. Ao considerarmos a velocidade e volumes de produção atuais o modelo de produção linear acaba encontrando empecilhos, com cada vez mais resíduos sólidos sendo descartados com uma vida útil mais curta.

Segundo o relatório *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*, publicado pelo Banco Mundial (Hoornweg e Bhada-Tata, 2012), a geração de resíduos sólidos urbanos alcança cerca de 1,3 bilhão de toneladas por ano no mundo. As prospecções feitas no relatório preveem que até 2025, a geração de resíduos possa chegar a 2,2 bilhões de toneladas por ano. Desse montante, a maior parte é destinada para aterros sanitários (destinação mais utilizada no mundo), seguida pelos processos de reciclagem, incineração, despejo em lixões e compostagem (FOSTER E SOUZA ROBERTO, 2016).

A disponibilidade de recursos naturais em uma sociedade com o consumo como o atual também acende um grande alerta, já que consumimos recursos em uma taxa maior que a capacidade do planeta de repor. O *Living Planet Report* (McLellan et al., 2014), a Pegada Ecológica Mundial – uma estimativa da quantidade de área necessária para suprir todos os bens e serviços ecológicos usados pela população mundial - ultrapassa em 50% a biocapacidade do planeta. Essa medida compreende o quanto o planeta é capaz de disponibilizar certos recursos e, portanto, com esse valor pode-se afirmar que o estilo de produção atual é insustentável.

Como uma diminuição nos padrões de consumo é um processo demorado e não necessariamente viável, diversas ações voltadas a uma forma de produção mais ecológica são estudadas, sendo uma delas a economia circular. Em um processo de manufatura comum, onde não existe um aproveitamento do resíduo gerado ao fim de vida útil do produto, o material acaba sendo inutilizado. Já em um processo de economia circular o produto já é desenvolvido visando uma reutilização de sua matéria prima ao fim da sua vida útil, perpassando por processos de desenvolvimento de materiais, escolhas de design, estruturação da logística de reciclabilidade e utilização desse resíduo no processo produtivo.

Além de uma visão de redução de custos, a questão ambiental se torna cada vez mais importante para o público consumidor. Muitas empresas se especializam na criação de selos

para certificação das ações de reciclagem e economia circular de fabricantes, para incentivar a compra de um público que se preocupa como seu consumo afeta o meio ambiente. Um exemplo desses selos é o gerado pela empresa EuReciclo, que já conta com 6700 empresas com seu selo.

2.3 Reciclagem mecânica

2.3.1 Definições e estado atual da reciclagem mecânica

Dentre os diferentes meios de reaproveitar o resíduo plástico pós consumo, tanto doméstico quanto o industrial, a reciclagem mecânica é a que menos interfere na composição do material, apesar de não conseguir manter totalmente as propriedades que conferem tanto valor aos plásticos de engenharia. É também relativamente barata frente a outros métodos, como a reciclagem química, que transforma os materiais principalmente em combustível e amônia, o que dificulta a transformação desses materiais novamente em plásticos.

A reciclagem mecânica também tem como ponto positivo a sua versatilidade, já que possibilita a reciclagem de diferentes polímeros sem grandes variações em seu processo produtivo, sendo especialmente positivo para os muitos tipos de plásticos de engenharia utilizados. Se mostra também eficiente do ponto de vista energético, já que utiliza menos energia do que a produção do material “virgem”, mesmo que esse ponto seja crítico na viabilidade econômica da reciclagem, já que a maior parte do custo de processamento de material vem da energia, normalmente elétrica, utilizada.

De um ponto de vista ambiental, a reciclagem em geral já é amplamente difundida e pesquisada como uma solução para o descarte de resíduos sólidos. Em uma recente revisão sobre o assunto, foram analisados mais de 4442 artigos que falam de reciclagem de plásticos, com mais de 32 mil artigos referentes a reciclagem em geral e economia circular, o que demonstra ser um assunto relevante atualmente (TSUCHIMOTO e KAJIKAWA, 2022). Apesar disso, no Brasil têm-se ainda um sistema de reciclagem não muito desenvolvido, com a maior parte dos resíduos sólidos sendo levados para aterros sanitário (Sistema Integrado de informações sobre a gestão de Resíduos Sólidos, 2019).

2.3.1 Reciclagem mecânica no Brasil

O processo de reciclagem mecânica se inicia pela coleta do material pós consumo principalmente por sucateiros individuais, empresas de limpeza urbana ou gestores de resíduo. Essas entidades encaminham esse resíduo para uma pré-triagem, podendo ser feita pelo próprio gestor de resíduo ou por cooperativas. As cooperativas atualmente possuem um papel importante no processo de gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil, tanto por uma questão social, que é intrínseca a essas entidades, quanto por realizarem grande parte da separação prévia do material plástico que é enviado às recicladoras.

De modo geral, as cooperativas operam como uma união de catadores e sucateiros que se reúnem para poder vender o resíduo pré-triado para a indústria de reciclagem e outros gestores de resíduo. Essas “empresas” (pois muitas são consideradas como entidades, sem ter um CNPJ especificado), normalmente não possuem uma capacitação técnica dos seus cooperados nem uma infraestrutura que comporte processos sofisticados de separação de materiais, sendo a maioria das separações feitas por força de trabalho humana, em triagem de bancada.

Segundo a pesquisa realizada pela Maxiquim Chemical Business and Intelligence, existe uma diferença entre escolha de técnica de separação também associada com a maturidade da empresa no mercado, a capacitação dos funcionários e a infraestrutura do negócio.

2.4 Técnicas de separação utilizadas na reciclagem no Brasil

2.4.1 Segregação por produto.

A segregação por produto é realizada por empresas familiares, MEIs e outras empresas de pequeno porte com baixa capacitação técnica, especialmente voltadas para a reciclagem de produtos eletrônicos. O material é segregado pelo seu produto de origem, fazendo o desmonte do produto em questão e segregando apenas como plástico, sem uma definição de qual polímero se refere.

2.4.2 Segregação por queima.

A segregação por queima é um procedimento utilizado geralmente por cooperativas. Os resíduos plásticos coletados são queimados, possibilitando aos profissionais da área realizarem a separação dos materiais plásticos conforme odor característico. Esse processo é realizado principalmente para a separação de plásticos commodities, principalmente PE, PP, PVC e PET. A segregação de plásticos de engenharia por queima se torna inviável dada a variedade de materiais. Em cooperativas normalmente não é realizada essa separação de polímeros de engenharia pela falta de capacidade técnica dos profissionais, fazendo com que parte desses plásticos sejam adicionados incorretamente em cargas de PP e PE. (Maxiquim, 2022)

2.4.3 Segregação por densidade.

A segregação por densidade é um procedimento um pouco mais especializado, realizado nacionalmente por poucas empresas, na maioria com foco em plásticos de engenharia. Em um tanque com água é colocado sal e controlada a temperatura para alterar a densidade da água ao ponto que seja possível separar os plásticos commodities, que normalmente possuem menor densidade, dos plásticos de engenharia, que acabam se depositando no fundo do tanque (Maxiquim, 2022). É seguida por outras análises para separação. Esse procedimento é mais utilizado nos EUA e Europa, onde o setor de reciclagem é mais estruturado e tem acesso a procedimentos mais elaborados (Applied Plastics Engineering

Handbook, 2017). A Figura 1 mostra a massa específica (densidade) dos principais plásticos utilizados no setor.

Figura 1: Densidade de plásticos comumente utilizados no setor

SPI Number	Plastic	Density g cm ⁻³
1	PET	1.35–1.38
2	HDPE	0.94–0.96
3	PVC	1.32–1.42
4	LDPE	0.91–0.93
5	PP	0.90–0.92
6	PS	1.03–1.06
7	Other	Very broad

Fonte: Applied Plastics Engineering Handbook (2017)

2.4.4 Segregação por bancada não especializada.

A segregação por bancada não especializada é aplicada na maioria das cooperativas e centros de triagem, sendo que essa triagem é feita de maneira principalmente visual, em que os operadores reconhecem os tipos de plásticos pelo símbolo de identificação, pelos produtos que geralmente são feitos de determinado material ou por características físicas e visuais. Grande parte das empresas que utilizam esse método conseguem apenas separar plásticos de engenharia de PE e PP, sem muita qualidade de separação.

2.5 Fluxo de material reciclado pós segregação no Brasil.

Após a segregação o material é então colocado em moinhos, normalmente moinhos de facas, para a redução do tamanho de partícula e possibilitar posterior extrusão.

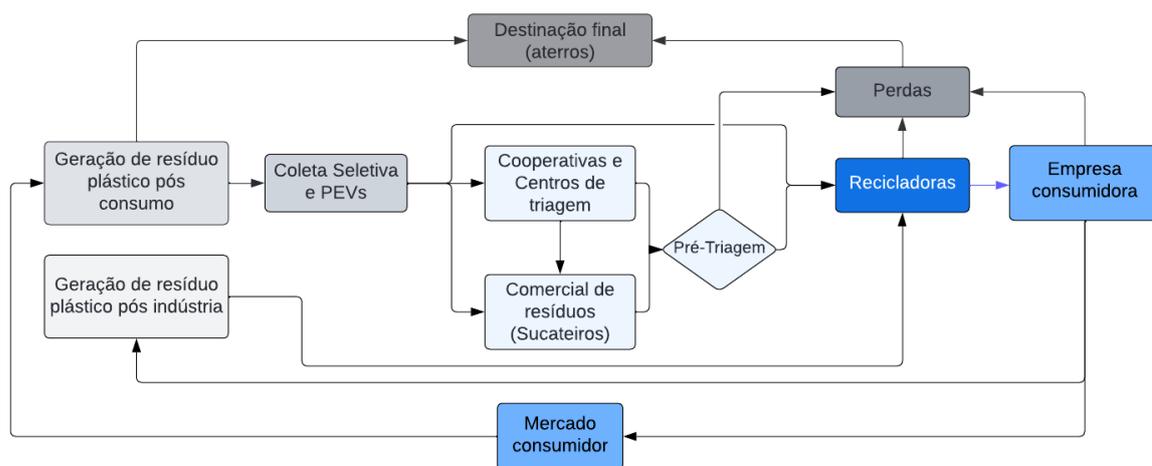
Na próxima etapa o plástico em flakes (material já moído) é lavado em tanques agitados com aditivos para limpeza para retirada de impurezas que possam atrapalhar o processo de extrusão. Um exemplo comum sobre a importância dessa etapa é para o caso do PSHI, que mesmo sendo um plástico de engenharia é muito usado para a produção de copos plásticos descartáveis, do tipo de café. Caso exista algum resíduo de açúcar da utilização desses copos, o açúcar queima durante a extrusão do material, o que interfere nas propriedades mecânicas do plástico reciclado, além de proporcionar um cheiro desagradável.

Após a lavagem é feita então a secagem, etapa necessária para a retirada da umidade do material, podendo ser feita em diferentes tipos de secadores. Os mais comuns na indústria são os que utilizam ventiladores e/ou ar quente, junto com pás misturadoras. Após a secagem, algumas indústrias utilizam aglutinadores, máquinas que prensam o material para

auxiliar na retirada de água e facilitar a extrusão. Por fim o material passa em uma extrusora para ser granulado e comercializado.

O fluxograma apresentado na Figura 2 demonstra como funciona a logística de um material passível de ser reciclado desde o seu descarte até a produção de um produto novo utilizando esse material reciclado caso um sistema de economia circular estivesse sendo utilizado de forma eficiente.

Figura 2: Fluxograma do caminho dos resíduos sólidos cadeia de reciclagem



Fonte: Autor

2.6 Legislação da reciclagem no Brasil

2.6.1 Política Nacional de Resíduos Sólidos

A lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 instituiu-se a PNRS, a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Mesmo que o setor da reciclagem já existisse no Brasil, principalmente regulamentado pela lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, muito do que se fazia era baseado em acordos setoriais. A lei define um acordo setorial como: “ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto;”. Essa definição também traz um ponto relevante que foi implementado pela PNRS que é a responsabilidade compartilhada.

Segundo Fabrício Soler (2022), a responsabilidade compartilhada pode ser descrita como: “Conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos”. Essa lei

impulsionou o mercado de reciclagem, inclusive por uma necessidade legal e ambiental, que com um mercado estruturado se torna também uma oportunidade de ganho financeiro.

2.6.2 Alterações recentes relevantes ao setor.

Em 13 de fevereiro de 2023 foi publicado no diário oficial da União o Decreto Federal nº 11.413, que institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura. Esse decreto substitui o Decreto Federal nº 11.044, de 13 de abril de 2022, que instituiu o Certificado de Crédito de Reciclagem Recicla+. O decreto de 2022 tinha como objetivo criar um documento em que empresas transformadoras de plásticos poderiam comprovar a retirada do resíduo sólido gerado do meio ambiente, em consonância com a lei 12.305, que trata também da implementação de sistemas de logística reversa.

O Recicla+, porém, não teve uma grande implementação sendo um dos motivos a burocracia necessária para a geração do documento comprobatório pelas recicladoras e cooperativas de catadores, que necessitavam comprovar a não duplicidade de notas e outros pontos. Como o setor de reciclagem no Brasil é historicamente pouco formalizado, grande parte das cooperativas e catadores não tinham condições de gerar esse documento e, visando resolver esse tópico, foi criado um novo decreto, de 2023, que flexibiliza e traz mais formas dessa comprovação ser feita.

O Decreto nº 11.413 mantém uma ideia inicial do Recicla+ com o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, que pode ser adquirido pelas empresas para comprovar essa logística reversa, mas hoje o investimento em cooperativas e incentivos para o setor de reciclagem também podem ser utilizados como meio comprobatório. Para isso, Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura vem como alternativa.

2.7 Controle e acompanhamento da reciclagem mecânica no Brasil

2.7.1 ABIPLAST

A Associação Brasileira da Indústria do Plástico - ABIPLAST, fundada em 1967, representa grande parte das indústrias de transformação e reciclagem no Brasil, com mais de 12 mil empresas associadas e quase 350 mil profissionais. A associação trabalha de forma conjunta com 21 sindicatos estaduais e tem por objetivo defender os interesses e prestar assistência a categoria. Além disso, realiza ações para promover o setor e sua competitividade, em prol da valorização do plástico.

Por contar com uma parcela tão grande do mercado dentre seus associados, a ABIPLAST também compila informações do setor e organiza relatórios referentes ao plástico e a reciclagem no Brasil

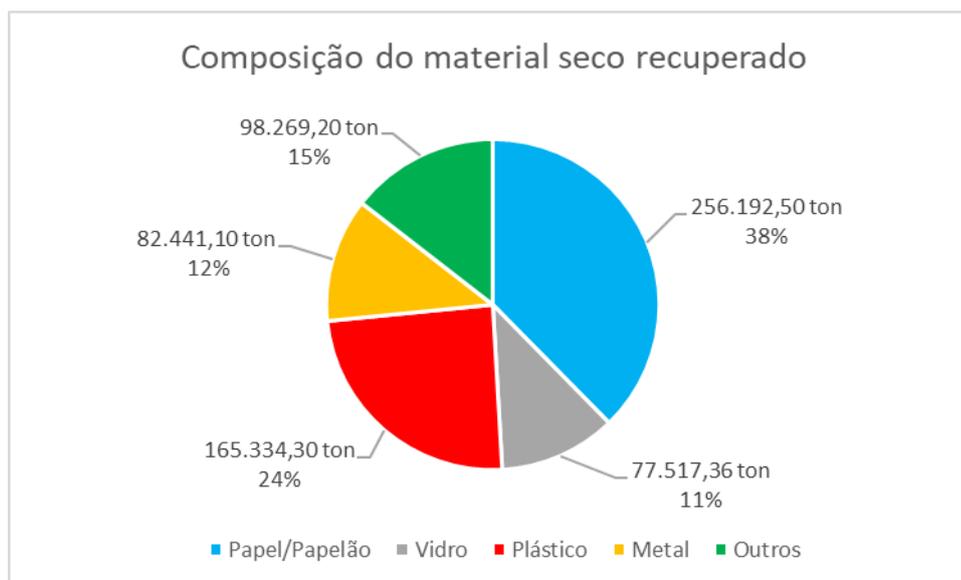
2.7.2 O gerenciamento de resíduos sólidos no Brasil

Atualmente existem 2.448 lixões no Brasil, que geram um problema ambiental e social grave (Ministério do Meio Ambiente, 2022). O programa lixão zero foi definido para mitigar esse problema, obrigando aos municípios a criação de aterros sanitários e sistema de gestão correta de resíduos. Os dados oficiais desse mercado são disponíveis no Sistema Nacional de informações sobre Resíduos sólidos - SINIR. Nessa plataforma governamental pode ser verificada a quantidade de resíduos que são produzidos, quantos municípios por região declaram essas movimentações, quantidade por material e custo de cada etapa do sistema de coleta.

Esses dados são baseados na emissão de um Manifesto de Transporte de Resíduos - MTR, porém como esse mercado ainda tem uma profissionalização incipiente em muitos municípios existe uma grande parcela que não gera esse documento e/ou não tem uma regulamentação forte. Essas discrepâncias com a realidade ficam mais evidentes quando se comparam com dados de consultorias especializadas, pois geralmente os dados do SINIR mostram uma quantidade de plástico levado para reciclagem muito menor do que é efetivamente encontrado no mercado.

A Figura 3 mostra a segregação de resíduos sólidos no Brasil em 2019 a partir de dados do SINIR (2019).

Figura 3: Composição dos resíduos sólidos gerados no Brasil



Fonte: Adaptado dos dados do SINIR(2019)

Esses dados, porém, não estão condizentes com a realidade por uma subnotificação das movimentações desses resíduos. O Plano de Incentivo à Cadeia do Plástico - PICPLAST, realiza anualmente uma pesquisa sobre a indústria da reciclagem, realizada pela Maxiquim Chemical Business and Intelligence. Nesse report foi estimado um consumo de 1.324.948

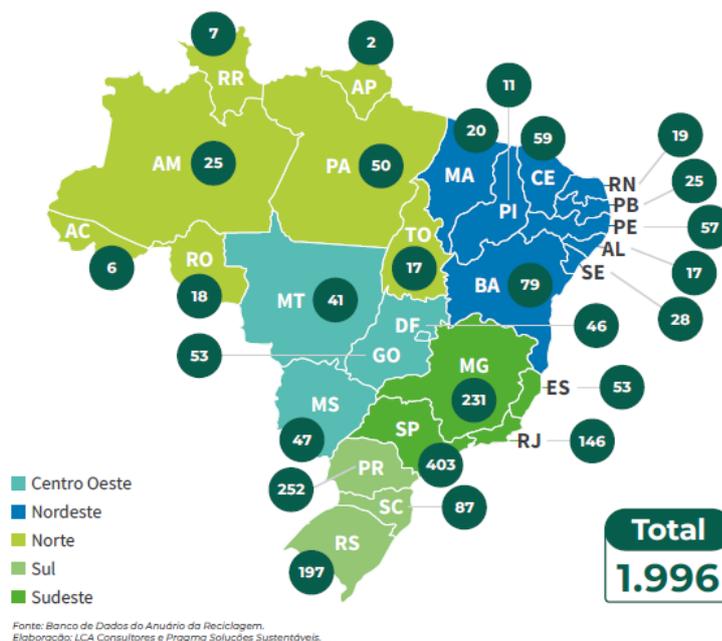
toneladas de plásticos pelo setor da reciclagem no ano de 2021, muito maior que o estimado pelo SINIR (PICPLAST, 2021).

2.8 Disposição atual do mercado

O mercado atual da reciclagem dispõe de diversos agentes, com uma disparidade grande entre a região do país em que se analisa. Com a PNRS a quantidade de municípios que dispõe de coleta seletiva de alguma forma aumentou nos últimos anos, porém ainda é comum encontrar municípios que têm um plano ambiental precário. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), dos 1664 municípios que declararam adotar a coleta seletiva, em 42% deles a coleta seletiva é feita exclusivamente pelos catadores, sendo os mesmos responsáveis por coletar 30% da massa coletada seletivamente nestes municípios

A primeira etapa do processo de reciclagem de plásticos se encontra nas associações de catadores, que fazem a primeira triagem do resíduo pós consumo. No ano de 2022, o Anuário da Reciclagem, que faz um acompanhamento do setor no Brasil, atingiu o total de 1.996 organizações de catadoras e catadores, presentes em 1.032 municípios brasileiros, abrangendo uma população estimada de 143 milhões de pessoas. Esses dados foram compilados pelos CNPJs cadastrados nos bancos de dados da receita federal. A Figura 4 mostra a relação entre o número de cooperativas por estado brasileiro.

Figura 4: Relação entre o número de cooperativas por estado



Fonte: Lima et al. (2021)

Entre a coleta do resíduo bruto e o pellet reciclado existem diversas etapas, como já tratadas na parte 2.2 desse trabalho. Como existem diversas etapas, existem também

empresas que realizam apenas partes do processo produtivo, seja apenas triando e lavando, seja moendo, seja produzindo o pellet a partir do plástico moído.

Em relação ao número de empregos diretos gerados, foi um aumento de 16.883 empregos, correspondendo a 6,7%, um aumento na capacidade instalada de 2.033 mil toneladas, correspondendo a 88,0% e um aumento no faturamento por tonelada reciclada de R\$ 2.843/t, correspondendo a 13,06% (PICPLAST, 2021).

A Tabela 1 mostra o volume de resíduo consumido no Brasil por tipo de material em 2021.

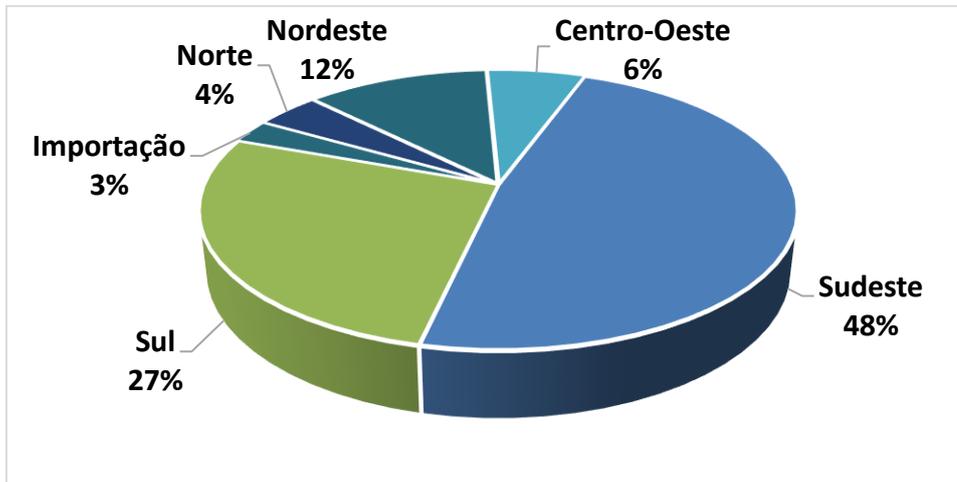
Tabela 1: Consumo de resíduo plástico reciclado no Brasil por resina.

CONSUMO DE RESÍDUO PLÁSTICO NA RECICLAGEM		
Material Plástico	Volume (t)	% do Total
PET	518.191	33%
PEAD	279.679	18%
PVC	42.176	3%
PEBD/ PELBD	303.408	19%
PP	301.208	19%
PS	53.601	3%
EPS	26.362	2%
XPS	6.236	0,4%
Outros Tipos	56.006	4%
TOTAL	1.586.866	100%

Fonte: Autor com dados do PICPLAST (2021)

De forma similar a distribuição de cooperativas no Brasil, a maior parte do resíduo é gerado e consumido na região sul e sudeste, com 35,8% do volume consumido não sendo originário do mesmo estado onde é reciclado, como representado na Figura 5.

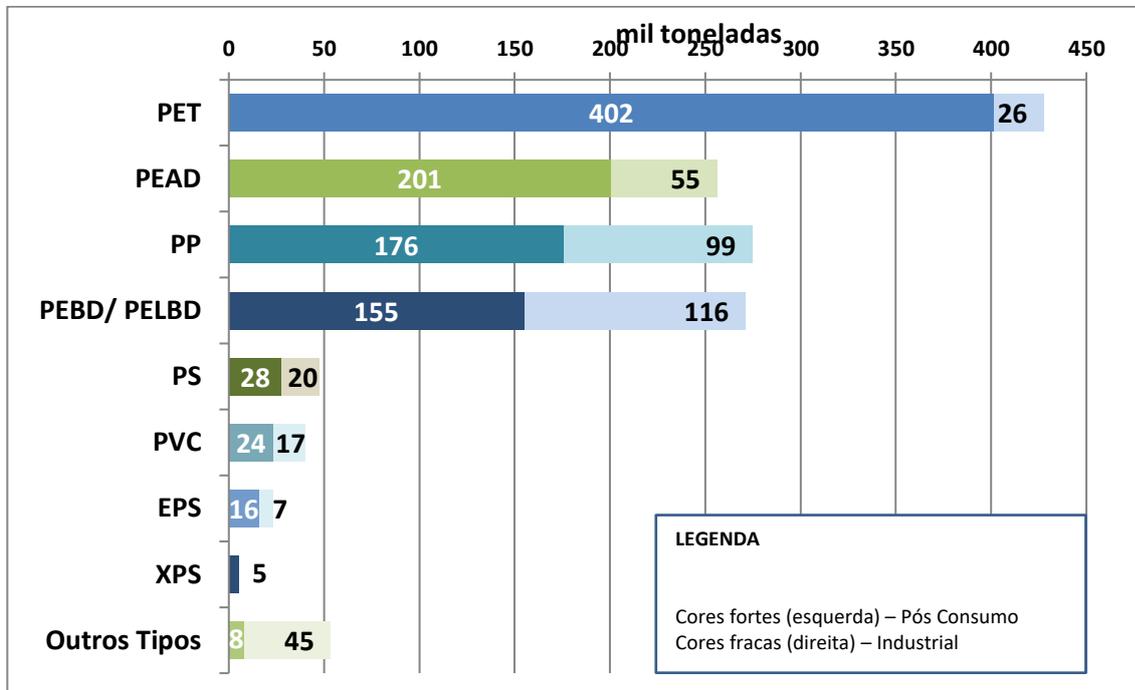
Figura 5: Gráfico de origem de resíduo plástico por região



Fonte: Autor com dados do PICPLAS (2021)

No caso dos plásticos de engenharia, correspondendo a pouco menos de 7% do resíduo coletado, entende-se que esse material é principalmente pós indústria, sendo rebarbas de injeção, retalhos de peças ou outras perdas de processo. A Figura 6 demonstra a relação entre os materiais pós consumo e pós indústria de acordo com os dados do PICPLAST (2021).

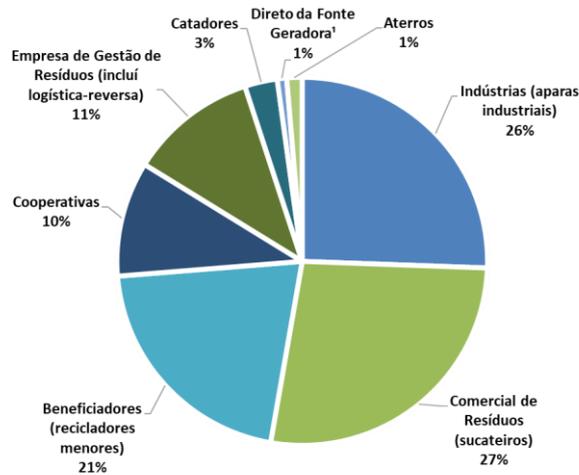
Figura 6: Relação entre consumo pós consumo e pós indústria por resina



Fonte: Autor com dados do PICPLAST (2021)

Quanto a proveniência dos resíduos plásticos consumidos na reciclagem, a Figura 7 demonstra que a maior parte do volume utilizado é produzido de plástico pós consumo, com as aparas industriais correspondendo à 26%.

Figura 7: Origem do material reciclado no Brasil



Fonte: Autor com dados do PICPLAST (2021)

Com relação às perdas relacionadas ao processo, a Tabela 2 demonstra a relação entre consumo e perdas de processo para cada tipo de plástico. Um ponto importante para a indústria do pós consumo é possível perceber que os plásticos de engenharia possuem uma perda baixa, de 5%.

Tabela 2: Perdas no processo da reciclagem dos resíduos plásticos por resina

PERDAS NO PROCESSO DA RECICLAGEM DOS RESÍDUOS PLÁSTICOS				
Material Plástico	Consumo de Resíduo (ton)	Perdas(ton)	Perdas (%)	Produção (ton)
PET	518.191	90.662	17%	427.529
PEAD	279.679	23.688	8%	255.991
PVC	42.176	2.038	5%	40.138
PEBD/ PELBD	303.408	32.503	11%	270.905
PP	301.208	26.672	9%	274.537
PS	53.601	6.001	11%	47.599
EPS	26.362	2.958	11%	23.404
XPS	6.236	869	14%	5.367
Outros Tipos	56.006	2.616	5%	53.390
TOTAL	1.586.866	188.007	13%	1.398.877

Fonte: Autor com dados do PICPLAST (2021)

2.9 Principais setores demandantes

2.9.1 Setor automotivo

Em um setor onde são necessárias partes que aguentem grande esforço mecânico, o uso de plásticos de engenharia foi uma solução clara e crescente em volume. Segundo Ariane Marques (2019) as peças plásticas trazem uma redução de peso de até 50% em comparação com as versões em metal. Em uma indústria que busca otimização de performance a diminuição do peso é um aspecto importante, especialmente para tecnologias emergentes como os carros elétricos que por conta de um peso menor do motor pode trazer a possibilidade de peças plásticas maiores e um percentual por produto maior,

Segundo Carlos Sakuramoto, diretor de manufatura e de materiais da Associação Brasileira de Engenharia Automotiva (AEA), a presença dos plásticos nos veículos aumentou acima da expectativa. Ele calcula que em média um automóvel possua em torno de 15 a 20% de seu peso hoje em plástico, com uma expectativa de manutenção do crescimento nos anos subsequentes (SANT'ANNA, 2020).

Grande parte dessas peças são utilizadas em aplicações do motor, como sistemas de arrefecimento, bombas de combustível, pedais, bandejas de óleo e alguns painéis. Para aplicações de menor esforço mecânico como forros, caixas de espelhos retrovisores e maçanetas normalmente são utilizados plásticos de menor valor agregado com aditivos, com uma grande quantidade sendo PP (polipropileno) adicionado de anti-chama, carga mineral (carbonato de cálcio) ou fibra de vidro (Revista Compostos, 2022).

2.9.2 Setor de eletroeletrônicos e eletrodomésticos.

Apesar das diferenças de utilização entre eletrodomésticos e eletroeletrônicos do setor de informática, os materiais utilizados para produção nesses dois setores são muito similares. Para ambos uma das características importantes é a durabilidade dos produtos, o que se mostra um desafio considerando as diferentes aplicações, o que faz com que o setor busque a utilização de plásticos de engenharia para garantir tais propriedades. De acordo com catálogos do setor e estudos feitos pela Maxiquim (2021), os polímeros que são mais utilizados por esses setores são o PSAI e o ABS, ambos marcados pela sua resistência mecânica.

No caso da linha branca, termo da indústria usado para se referir a produtos como refrigeradores, fornos micro-ondas, lavadoras e similares, é comumente utilizado o PSAI na parte externa e o ABS na parte interna (dado o exemplo do refrigerador). Já para o caso dos eletroeletrônicos como computadores, celulares e outros eletroeletrônicos a maior diferença na utilização é o custo desses materiais, como ABS sendo mais aplicado em produtos de maior valor agregado.

3 Metodologia

3.1 Pesquisa secundária.

A coleta de informações utilizadas neste trabalho foi feita utilizando dados primários e secundários, buscando informações em empresas do setor e bibliografia especializada. Utilizando a definição de Mattar(2005):

Dados primários são aqueles que não foram antes coletados, estando ainda em posse dos pesquisados, e que são coletados com o propósito de atender às necessidades específicas da pesquisa em andamento. As fontes básicas de dados primários são: pesquisado (sic), pessoas que tenham informações sobre o pesquisado e situações similares.

Dados secundários são aqueles que já foram coletados, tabulados, ordenados e, às vezes, até analisados e que estão catalogados à disposição dos interessados. As fontes básicas de dados secundários são: a própria empresa, publicações, governos, instituições não governamentais e serviços padronizados de informações de marketing.

Para buscar os dados referentes às empresas do setor foram realizadas buscas na internet, avaliando os sites e catálogos para compreender com o que trabalham.

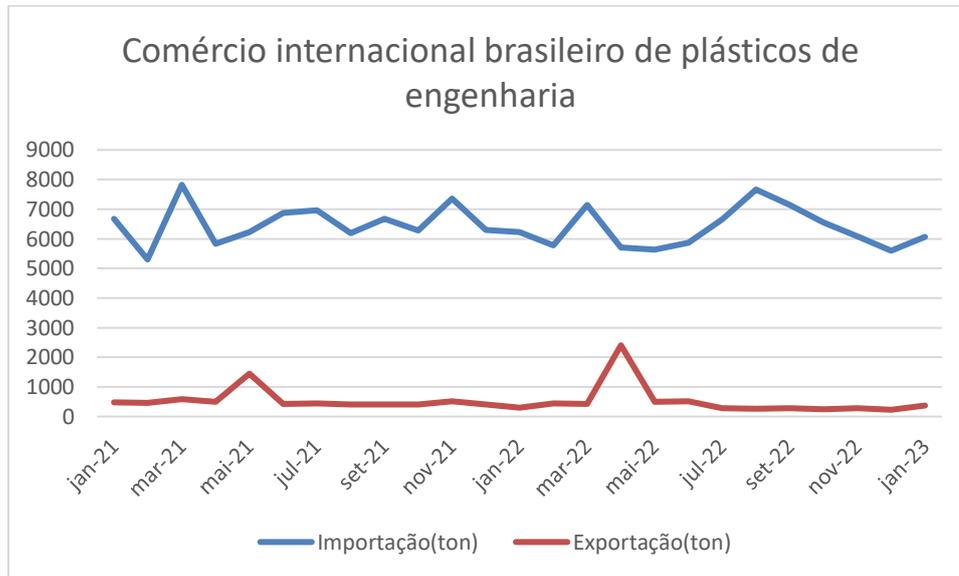
3.2 Relação de importação e exportação de plásticos de engenharia

Como o Brasil não é um grande polo produtor de plásticos de engenharia a entrada de material importado é relevante para mensurar o quanto é transformado internamente pelos setores demandantes. Como os dados disponibilizados pelo governo, buscou-se do a partir da plataforma governamental COMEX STAT, o número em toneladas dos polímeros de engenharia disponíveis nos bancos de dados.

Os polímeros buscados foram o PBT (polibutileno tereftalato), o PCTFE (policlorotrifluoretileno), o PEEK (poli(éter-éter-cetona)), o PMMA (polimetilmetacrilato), o POM (poliacetal), o PA (Poliamida), o PI (Poliimida), o PTFE (politetrafluoretileno), o PVDC (polidifluoreto de vinilideno) e o PVF (Polifluoreto de vinila). Os valores de ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e PSAl (Poliestireno de alto impacto) não foram contabilizados na Figura 8 pois foram buscados na base de dados da Maxiquim, já que o COMEX não segregava PSHI (high impact) e PSGP (general purpose, também conhecido como cristal).

Os dados foram coletados do período de janeiro de 2021 até dezembro de 2022, com o detalhamento tanto do valor FOB (USD) quanto em toneladas. Após realizada a consulta dos materiais citados, foi elaborado um gráfico, mostrado na Figura 8, com a relação de importação e exportação do conjunto total desses materiais ao longo do período.

Figura 8: Importação e exportação de polímeros de engenharia de janeiro de 2021 a janeiro de 2023



Fonte: Autor com dados do Banco de dados COMEX STAT

3.3 Estimativa de volume de plástico de engenharia utilizado no Brasil

3.3.1 Principais usos

Para poder gerar uma estimativa de volume de plásticos de engenharia consumido e reciclado, primeiramente, foi necessário definir onde esses materiais eram mais utilizados. Para isso, foi feita uma avaliação na bibliografia disponível e nas fichas técnicas de *grades* de plásticos de engenharia para definir quais eram as utilizações alvo de cada tipo de polímero. Foram também feitas entrevistas com empresários do setor durante o dia a dia na empresa Maxiquim Chemical Business and Intelligence para compreender os “mercados chave”.

3.3.2 Principais setores demandantes

A partir da revisão bibliográfica e avaliação da utilização alvo foram buscados dados referentes a cada um dos mercados consumidores em publicações de revistas especializadas, na literatura e em publicações das associações nacionais de cada um dos setores. Os setores avaliados foram o setor automotivo, eletrodomésticos e eletrônicos.

3.3.2.1 Setor Automotivo.

No setor automotivo foram analisados os dados publicados pela carta da Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2023). A ANFAVEA foi criada em 1952 para estruturar e incentivar o setor automobilístico no Brasil. Desde 2019 possui uma publicação digital sobre o setor e em seus bancos de dados estão disponíveis dados mensais sobre produção, licenciamento e exportação de automóveis comerciais leves,

caminhões e ônibus desde 1957. Esses dados foram comparados em uma relação temporal para verificar a variação nos últimos cinco anos.

Com isso foi calculado o volume médio de plásticos de engenharia introduzidos no mercado, calculando-se como 10% do peso médio de um carro popular produzido considerando o tempo para o seu descarte. Portanto mesmo que atualmente esse percentual seja maior, os carros que estão sendo descartados hoje possuem um percentual menor. Essa estimativa foi baseada em conversas com empresários do setor e do banco de dados da Maxiquim. É necessário ainda considerar quanto tempo em média um carro demora até ser descartado ou ter suas peças plásticas trocadas. O tempo de vida de um carro é muito variável, dependendo de condições de manutenção, padrão de uso do proprietário, tipo do veículo e qualidade do material utilizado, porém como regra geral estima-se que um carro de passeio popular seja utilizado por 200.000 a 250.000 km rodados.

Essa distância, considerando a média de uso do brasileiro é alcançada de 5 a 10 anos de uso. Após esse tempo, porém, não ocorre o desmanche desse veículo, já que é mais comum que ele seja utilizado por mais tempo ou colocado à venda como usado, já que o poder de compra nacional não possibilita uma grande rotatividade desse produto para um cidadão médio. Por isso, foi considerado para ser desmanchado um tempo de 20 anos.

Para calcular o peso médio de um carro popular foram buscados os pesos de 820 modelos de veículos leves vendidos no Brasil atualmente, dados que foram disponibilizados pela revista online Notícias Automotivas (OLIVEIRA, 2023). Como a lista definia o peso de todos os veículos vendidos foi definido um índice de utilização, separando por marcas e modelos já que a quantidade de carros vendidos por marcas mais populares como Chevrolet, por exemplo, é muito maior que os vendidos por marcas como a Lamborghini.

Segundo a divulgação da General Motors - GM, em 2020 foram emplacados mais de 338 mil veículos da marca Chevrolet (Chevrolet, 2021), enquanto existem no Brasil menos de 200 veículos da marca Lamborghini. Desse modo foi calculada uma média ponderada relacionando o peso em kg e o índice de venda (definido pelo autor a partir do número de modelos estimado no Brasil), para definir o peso de um carro popular. O valor estimado foi de 1370 kg, sendo aproximadamente 137 kg de plástico. Além disso é importante considerar que grande parte dos plásticos em veículos é o PP composto, então desse peso foi considerado 40% de plásticos de engenharia. Da mesma forma foi considerado o peso de caminhões e ônibus produzidos, considerando uma média de 10 vezes mais, em peso de plástico, com relação à um carro popular.

Para as estimativas do presente trabalho foi considerado um tempo de 20 anos, um pouco maior que a média desse tempo para compensar a crescente do uso de plásticos em relação ao peso dos carros nas últimas duas décadas. Foi utilizada para essa estimativa a produção média anual entre 15 e 20 anos antes (ANFAVEA, 2023), portanto de 2003 a 2008, já que esses veículos leves que teoricamente estão sendo descartados ou tendo suas peças

alteradas. Além disso foram adicionados a média dos licenciamentos de carros importados e subtraídas as exportações do mesmo período.

3.3.2.2 Setor de eletrodomésticos.

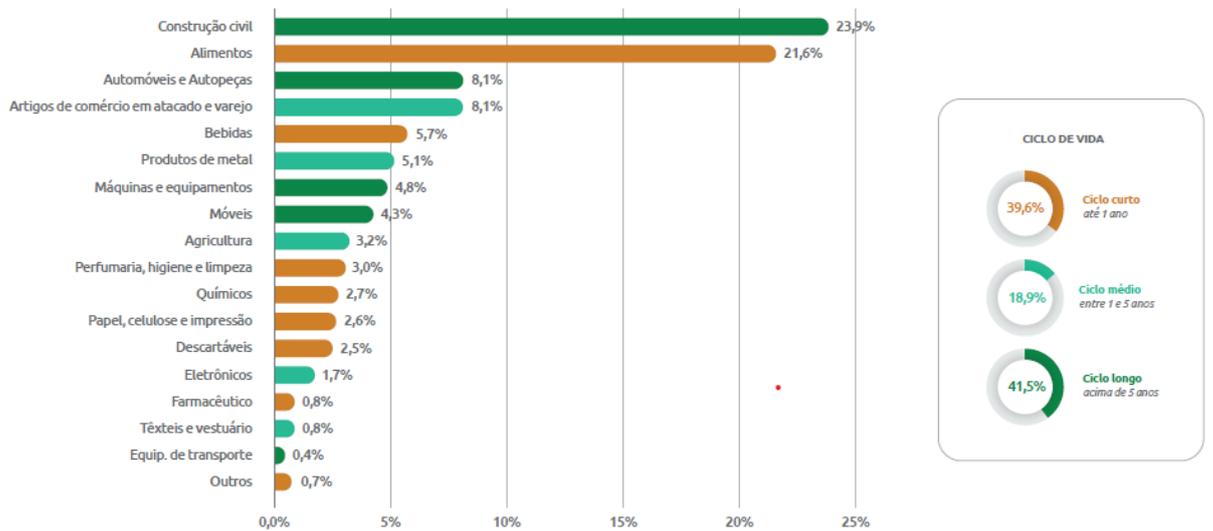
O setor de eletrodomésticos e eletrônicos possuem muitas similaridades nos materiais utilizados e, por conta disso, boa parte das associações de empresas e análises conjunturais realizadas pelo Estado são feitas de forma conjunta. Sendo assim, a estimativa de volume de material utilizado por esses setores será feita também de forma conjunta. Para isso foi feita uma análise dos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE sobre os setores. O órgão não trabalha com volumes específicos de material, pois utiliza um valor em base 100 sobre a produção do setor em 2012 e, a partir desse valor base, mostra a produção do setor em proporção.

Para realizar uma análise de volumes baseou-se na metodologia e banco de dados da Maxiquim Chemical Business and Intelligence, partindo do consumo de PSAl e ABS, já que são os plásticos com maior utilização no setor. Para realizar essa análise foram consideradas a importação, a exportação, a produção interna e a demanda doméstica, para poder definir quanto de resíduo era gerado e quanto ainda estava em uso. Como a maioria das aplicações dos plásticos de engenharia não são de curto prazo, é necessário considerar o tempo de descarte desses produtos. Sobre isso foram definidos fatores de correção considerando o tipo de material e o produto utilizado. Para eletrodomésticos foi considerado um produto de tempo de vida longo: 7 anos para produtos de HIPS e 10 anos para produtos de ABS. Para eletroeletrônicos foi considerado um produto de tempo de vida médio: 3 anos para produtos de HIPS e 4 anos para produtos de ABS.

A figura 9 mostra a definição utilizada pela ABIPLAST usada para os tempos de vida de produtos.

Figura 9: Gráfico de setores consumidores de transformados com segregação por tempo de vida

SETORES CONSUMIDORES DE TRANSFORMADOS PLÁSTICOS EM VALOR DE CONSUMO (2019)¹



Fonte: ABIPLAST (2021)

A demanda doméstica foi calculada de acordo com a equação (1), como a soma do consumo aparente com a importação, descontando a exportação e a geração de resíduos

$$Geração = \frac{Demanda\ doméstica}{Fator\ tempo\ de\ vida\ X\ percentual\ do\ mercado} \quad (1)$$

O percentual de produtos de HIPS e ABS que possuem tempos de vida longo ou médio estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Segregação de materiais utilizados por setor

Percentual de produtos do setor que são produzidos com cada material.		
Setor	PS	ABS
Eletrodomésticos	73%	59%
Eletroeletrônicos	28%	41%

Fonte: Autor com dados da Maxiquim

3.3.3 Maiores empresas de cada setor

Definidos os maiores mercados consumidores sendo eletrodomésticos, automobilístico e eletroeletrônicos, buscou-se quais eram as empresas mais representativas e que detinham os maiores percentuais de cada setor. Para isso, foi inicialmente feita uma busca a partir de

dados secundários, avaliando as empresas que eram mais referenciadas ao procurar sobre o setor em ferramentas de pesquisa na internet, além de blogs especializados. Um ponto relevante para a estimativa de volume era a produção local, então foram priorizadas empresas transformadoras de plásticos com fábricas nacionais.

Dessa forma, foram analisadas:

- Para o setor automotivo: Volkswagen, Toyota, Hyundai, GM, Ford e Renault;
- Para o setor de eletrodomésticos (linha branca): Grupo SEB (Arno), Black&Decker, Britânia/Philco, Eletrolux, Mondial, Philips Walita e Whirlpool;
- Para o setor de eletroeletrônicos: LG, Flextronics, Samsung, Dell, Multilaser, Lenovo, Positivo, HP e Intelbras.

3.4 Análise de metas de reciclagem e objetivos de sustentabilidade.

Em seguida foram verificados os resultados de reciclagem das empresas, analisando as metas de ESG reportadas e as metas de reciclagem de cada uma delas. Para buscar esses dados foram acessados os dados institucionais nos sites oficiais das empresas e nas publicações para os acionistas. Esses dados, porém, não são publicados de forma padronizada entre companhias e pelo fato de os objetivos serem metas a serem buscadas pelas empresas e não garantias, a análise desses dados foi feita de forma qualitativa. Para isso, foi desenvolvida uma classificação das ações da empresa referentes a economia circular e a reciclagem de plásticos em seus produtos.

3.5 Pesquisa primária com empresários do setor da reciclagem

3.5.1 Entrevistas com especialistas do setor.

Como parte da coleta de informações, foram feitas entrevistas com profissionais do ramo para compreender melhor o setor como um todo. Foram feitas 3 entrevistas, sendo duas com consultores com muito tempo de experiência no setor da reciclagem e mercado de polímeros e uma com um engenheiro especializado em desenvolvimento de materiais e polímeros de alta performance.

A primeira entrevista foi realizada com o Engenheiro Químico Maurício Jaroski, Co-orientador desse projeto e editor do Maxiquim Market Report, relatório de preços que acompanha o mercado de reciclagem desde 2014, já estando na centésima edição. Formado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Maurício também possui MBA em Business Analytics também pela UFRGS e ampla experiência em projetos envolvendo o setor de reciclagem, sendo o gestor da área de energia e química sustentável da Maxiquim Chemical Business and Intelligence. A conversa foi feita presencialmente, onde foram dadas

indicações sobre tópicos relevantes para elaboração do questionário, meio de contato com empresas do setor e sobre o atual cenário do mercado.

A segunda entrevista foi feita com a Engenheira Química e sócia fundadora da Maxiquim Chemical Business and Intelligence, Solange Stumpf. Iniciou sua carreira trabalhando na Petrobras, de onde saiu junto com um colega para fundar a sua consultoria, que já existe há 28 anos trabalhando com inteligência de mercado voltada para a indústria química. Dentro desse tempo de experiência já fez vários projetos voltados para a reciclagem e para o setor, com destaque para a gestão do PICPLAST, projeto feito em parceria com a ABIPLAST onde foi realizada uma avaliação de todo o setor de reciclagem por meio de pesquisas primárias e secundárias. A Eng. Solange também é mestre em administração de empresas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul e tem MBA em administração pela HEC de Paris.

A terceira entrevista foi feita com o Dr. Júlio Harada, doutor em materiais avançados e nanotecnologia pela Universidade Federal do ABC. O Dr. Júlio foi gerente de desenvolvimento e novas aplicações de polímeros por quase 3 décadas na BASF e atualmente é diretor na Plastic Xperience, uma plataforma que trata sobre plásticos. A entrevista foi feita por meio de mensagens, guiada a partir do questionário desenvolvido pelo autor sobre o setor.

3.5.2 Definição de escopo de empresas a serem entrevistadas.

Tendo um enfoque na reciclagem mecânica de produtos PCR, foram utilizados os dados disponibilizados pela Maxiquim Chemical Business and Intelligence para buscar empresas que já trabalhassem com esses materiais ou tivessem recursos técnicos e de infraestrutura para realizar essas operações. Como os bancos de dados não especificavam quais empresas trabalhavam com plásticos de engenharia, foi feita uma filtragem dentre empresas que já tinham relatado trabalhar com PSAI e/ou ABS.

A filtragem foi feita desse modo por sugestão do Eng. Maurício Jaroski, analisando o número de resinas recicladas por cada empresa dentro dos bancos de dados disponíveis. O que foi encontrado nessa análise inicial é que a maior parte das empresas consideradas que reciclam PP e PE, os mais comuns plásticos a serem reciclados dentro do setor, apenas reciclam esses materiais. O mesmo ocorria com recicladores de PVC e de PET, tendo processos produtivos especificados para esses materiais, porém com uma diferenciação para os recicladores que trabalhavam com o PSAI e com o ABS, que tinham uma maior variedade de plásticos dentro da carteira de serviços. A filtragem foi feita utilizando uma base de dados em SQL (Maxiquim, 2021).

3.5.3 Meio de contato com as empresas selecionadas.

Partindo dessa separação inicial, foi criado um banco de dados com 241 empresas, das quais 166 foram filtradas inicialmente porque tinham maior possibilidade de trabalhar com plásticos de engenharia. Foi utilizado um questionário desenvolvido pelo autor a partir de

informações secundárias e conversas com especialistas. Os contatos foram realizados por meio de ligações por telefone, onde o autor apresentou a motivação da pesquisa e aplicou o questionário, registrando as respostas em forma de texto para posterior análise.

3.5.4 Elaboração do questionário para os especialistas e empresas.

Para guiar a busca de informações primárias o autor desenvolveu dois questionários a serem aplicados: um para especialistas do setor de polímeros e reciclagem em geral e outro para empresas que trabalham com os materiais foco do trabalho. O questionário para os especialistas tratava de informações mais voltadas para o mercado e o sistema de logística reversa em geral, além de possíveis impeditivos técnicos para a reciclagem desses materiais, enquanto o questionário para as empresas tratava de informações voltadas para o processamento e quais eram os problemas encontrados no processo que já existia.

Sobre o questionário para especialistas foi perguntado sobre: o mercado atual de plásticos de engenharia; a possibilidade de separação eficiente de diferentes resíduos pós consumo; quais polímeros de engenharia têm a maior capacidade de comportar material reciclado na sua composição; quais os maiores problemas para a reciclagem mecânica desses materiais e se a aditivação era um limitante.

Sobre o questionário para as empresas foi perguntado sobre: se as empresas trabalhavam com plásticos de engenharia; como o resíduo chegava na empresa; como era feita a separação; sobre a separação do resíduo PCR; sobre a questão logística de trabalhar com material que possui pouco volume de produção comparativamente com outros polímeros; sobre quais são os maiores problemas de reciclagem mecânica para a empresa; estimativa de volume trabalhado e que variações na manufatura poderiam minimizar os problemas da reciclagem.

Ambos os questionários estão disponíveis no Anexo deste trabalho.

3.6 Consolidação das respostas dos questionários.

A partir da pesquisa primária as respostas foram compiladas na forma de tabela, para possibilitar a comparação entre as informações coletadas. Isso foi feito pelo fato da maior parte das perguntas definidas no questionário serem qualitativas e o número de questionários aplicados não ser grande suficiente para uma análise estatística das respostas. Com enfoque nas perguntas sobre as dificuldades do setor, foi definida na tabela também quais foram os problemas relatados com mais frequência, sobre a questão logística e sobre que variações na manufatura trariam uma minimização dos problemas citados.

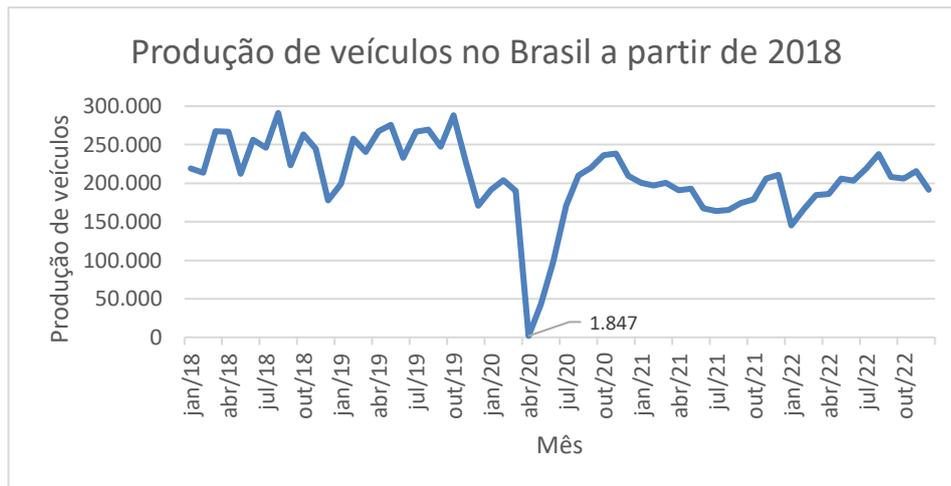
4 Resultados e discussão

4.1 Estimativa de volume de material reciclado no Brasil.

4.1.1 Setor automotivo.

A variação do mercado automotivo nos últimos 5 anos está mostrada na Figura 10.

Figura 10: Gráfico de produção de veículos de janeiro de 2018 a dezembro de 2022



Fonte: Autor com dados da ANFAVEA (2023)

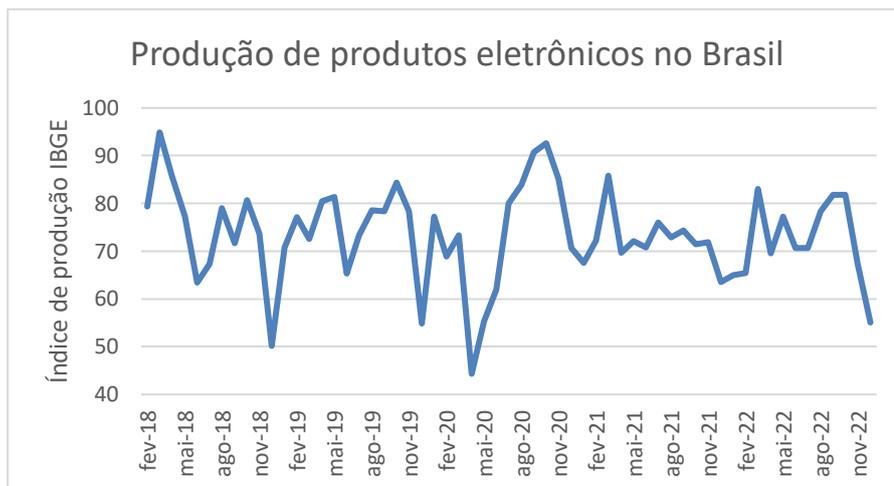
Observa-se na Figura 10 que no período de abril/junho de 2020 houve um decréscimo acentuado na produção de veículos no Brasil devido os efeitos da pandemia de Covid-19. Segundo a projeção da ANFAVEA em 2023 o setor deve ter um crescimento na produção de 4,2% para veículos leves, passando de 2.176 mil unidades em 2022 para 2.267 mil unidades em 2023. No mesmo período projeta-se um decréscimo 20,4% nos veículos pesados, passando de 194 mil unidades em 2022 para 154 mil unidades em 2023, com um total acumulado do setor de crescimento projeto de 2,2 mil unidades.

De acordo com a metodologia já citada o resultado de geração de resíduos de plásticos de engenharia provenientes do setor automotivo foi de 451.338 t para o ano de 2023.

4.1.2 Setor de eletrodomésticos e eletroeletrônicos.

A variação do mercado de eletrodomésticos e eletroeletrônicos nos últimos 5 anos está mostrada na figura 11.

Figura 11: Gráfico de índice de produção de janeiro de 2018 a dezembro de 2022



Fonte: Autor com dados do IBGE (2023)

Ao analisar esse período é perceptível que o ano de 2021 foi mais estável ao longo do seu período, em um mercado que tem normalmente uma queda de vendas na virada do ano.

De acordo com a metodologia já citada o resultado de geração de resíduos de plásticos de engenharia está descrito na Tabela 4.

Tabela 4: Geração de resíduos plásticos provenientes do setor eletroeletrônico

Geração resíduos eletroeletrônicos e eletrodomésticos		
2021	PS	ABS
Consumo aparente	120.000	29.561
Imp. transformados	18.335	17.701
Exp. transformados	3.283	1.324
Demanda doméstica	135.052	45.938
Geração resíduos	22.890	6.078
Plástico em uso	112.161	39.860

Fonte: Autor com dados da Maxiquim (2021)

A maior prevalência da utilização do PSAl sobre o ABS e, mesmo que omitidos por representarem um volume muito baixo, sobre os outros plásticos de engenharia podem ser explicados os custos desse material. Como para a maior parte das aplicações as propriedades mecânicas do PSAl são suficientes não é vantajosa a utilização de materiais mais custosos.

4.1.3 Índice de reciclabilidade estimado e comparativo de volumes

A estimativa de volume total de resíduos de plásticos de engenharia gerados no em 2023 foi de 752.228.338,3 ton, já que o foi setor automotivo e de eletrônicos ter sido considerado 60% do volume total de resíduos gerados. Para o mesmo período o SINIR, apresentou um valor de resíduos plásticos gerados de 165.334,30 t, considerando todos os tipos de polímeros. Já a pesquisa do PICPLAST, solicitada pela ABIPLAST e realizada pela Maxiquim, encontrou um valor total de plásticos reciclado de 1.586.866 t, sendo desses 56.000 t de plásticos de engenharia.

Como os dados do SINIR estão visivelmente subestimados, principalmente comparando o tamanho do mercado de PET e PE que são muitas vezes maior que o volume estimado, para a análise foram considerados os dados publicados pela ABIPLAST para a quantidade de plásticos reciclados. Sendo assim, o índice de reciclabilidade encontrado foi de 7,44%, o que condiz com o esperado para esse tipo de polímeros pelos resultados publicados por associações do setor e em conversas com os especialistas.

4.2 Análise de Metas e Objetivos voltados para reciclagem de empresas dos setores analisados.

Para as empresas de eletrodomésticos, os dados referentes às empresas citadas são mostrados na Figura 12.

Figura 12: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem do setor de Eletrodomésticos

Empresa	Posicionamento atual em economia circular	Metas de reciclagem de plásticos em ESG	
Grupo SEB(Arno)			 Possui uma meta de reciclagem definida em números e objetivos concretos.
Black&Decker			 Trata da reciclagem em seus objetivos, mas não define meta.
Britânia/Philco			 Não cita ou cita de forma superficial o tema.
Eletrolux			 Possui um sistema de economia circular desenvolvido.
Metalfrio			
Mondial			 Tem ações voltadas para a economia circular e ações em implementação para o sistema
Philips Walita			
Whirlpool			 Não possui ações de economia circular divulgadas.

Fonte: Autor

Observa-se na Figura 12 que algumas empresas possuem metas de reciclagem definidas em números e objetivos concretos, como por exemplo o Grupo SEB (Arno) e Eletrolux.

Outras empresas tratam de reciclagem em seus objetivos, mas não definem metas, como por exemplo as empresas Black&Decker, Philips Walita e Whirlpool.

Para o setor automotivo, os dados referentes à reciclagem das empresas citadas são mostrados na Figura 13.

Figura 13: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem do setor Automotivo

Empresa	Posicionamento atual em economia circular	Metas de reciclagem de plásticos em ESG
Volkswagen		
Toyota		
Hyundai		
GM		
Ford		
Renault		

 Possui uma meta de reciclagem definida em números e objetivos concretos.

 Trata da reciclagem em seus objetivos, mas não define meta.

 Não cita ou cita de forma superficial o tema.

 Possui um sistema de economia circular desenvolvido.

 Tem ações voltadas para a economia circular e ações em implementação para o sistema

 Não possui ações de economia circular divulgadas.

Fonte: Autor

Para o setor automotivo nenhuma empresa possui meta de reciclagem definida em números e objetivos concretos. Entretanto, outras empresas como Toyota, Hyundai, GM e Ford tratam da reciclagem em seus objetivos, mas não definem metas. A Volkswagen e a Renault não citam ou citam de maneira superficial o tema.

Para o setor de eletroeletrônicos, os dados referentes às empresas citadas são mostrados na Figura 14.

Figura 14: Análise qualitativa dos objetivos empresariais voltados para a reciclagem para o setor Eletroeletrônico

Empresa	Posicionamento atual em economia circular	Metas de reciclagem de plásticos em ESG	
LG			Possui uma meta de reciclagem definida em números e objetivos concretos.
Flextronics			Trata da reciclagem em seus objetivos, mas não define meta.
Samsung			Não cita ou cita de forma superficial o tema.
Dell			Possui um sistema de economia circular desenvolvido.
Multilaser			Tem ações voltadas para a economia circular e ações em implementação para o sistema
Lenovo			Tem ações voltadas para a economia circular e ações em implementação para o sistema
Positivo			Tem ações voltadas para a economia circular e ações em implementação para o sistema
Intelbras			Não possui ações de economia circular divulgadas.

Fonte: Autor

Exemplificando a análise qualitativa: A empresa LG, que foi classificada como “média” no posicionamento atual em economia circular e “alta” nas metas de reciclagem de plásticos em ESG, reportou em 2021 que utilizou 32% mais plásticos reciclados que 2020 e pretende alcançar 600.000 t de plásticos reciclado em 2030. Já a empresa Britânia, ao contrário, não apresentou em seu site, nem em notícias do setor, objetivos claros voltados para a reciclagem e nem mostrou um sistema de economia circular desenvolvido.

4.3 Pesquisa primária com especialistas do setor.

4.3.1 Entrevista com o Eng. Maurício Jaroski

Relativo ao estado atual do mercado de plásticos de engenharia o Eng. Maurício disse que é difícil avaliar atualmente o setor já que a pandemia teve um forte impacto e só agora em 2023 voltou a se estabilizar. Relatou que na pandemia houve um grande aumento no consumo de plásticos em embalagens e uma diminuição na venda de bens de consumo duráveis, principais mercados de plásticos de engenharia. Mesmo com essa influência disse ser um mercado que vem crescendo pouco, praticamente estável em volume de consumo há quase uma década e que acredita que se houver aumento de mercado, este deverá ser puxado pelas importações.

Como o Brasil não possui grandes plantas de produção de plásticos de engenharia, grande parte do volume desses materiais que chegam no Brasil são em produtos já transformados, em peças prontas. O Eng. Maurício acredita que o Brasil atualmente não é competitivo o suficiente para valer o custo de implementação de uma planta nacional. Questionado sobre a viabilidade de um mercado maior para o reciclado pós consumo de plásticos de engenharia, o Eng. Maurício disse que é viável, porém não rentável. Explicou essa afirmação pelo fato de o Brasil não gerar um volume de plástico de engenharia PCR que justifique o investimento e sugeriu que melhor seria uma operação de logística reversa junto com as empresas especializadas nesses materiais.

O Eng. Maurício disse também que um problema desses polímeros é que existe a variação não só nas resinas, mas também nos compostos. Por mais que seja possível reciclar

a mesma resina com diferentes compostos (como fibra de vidro, talco, aditivos antichama, entre outros) isso leva a um produto reciclado com propriedades diversas, o que dificulta o controle de qualidade que necessitam os setores de bens duráveis. Por fim, questionado sobre os principais empecilhos para a reciclagem mecânica citou a falta de escala e volume de materiais, a dificuldade de separação desses materiais, o enfoque dos recicladores de bens duráveis por outros materiais como o metal e placas de circuito e o alto volume de plásticos de engenharia armazenados que não são levados para a reciclagem.

4.3.2 Entrevista com a Eng. Solange Stumpf

A conversa com a Eng. Solange Stumpf foi feita por meio de reunião virtual. Sobre o mercado atual de plásticos de engenharia ela disse ser um mercado muito dependente de crédito, câmbio e poder de compra. Isso se dá pela maior parte da utilização dos polímeros de engenharia ser aplicada na indústria automobilística, eletrônica, informática e outros setores que produzem bens duráveis e de valor mais alto. Citou também que o mercado nacional hoje já vê potencial para utilização de plásticos commodities aditivados, já que a maior parte do plástico de engenharia entra por importação ou produtos prontos.

Questionada sobre a possibilidade da reciclagem desses materiais PCR ser viável disse que é possível, porém necessita de um investimento maior na cadeia de reciclagem. Segundo ela o que é mais viável é um investimento maior das empresas em soluções de economia circular para conseguir levar esse resíduo gerado para as empresas que têm a capacidade de separação desses materiais, já que o problema logístico é um impeditivo. Sobre a visão dos mercados consumidores desses polímeros referentes ao reciclado a Eng. Solange disse que não é uma questão de redução de custos, mas uma busca das metas ambientais, porém isso depende da empresa analisada, já que a utilização em peças de maior esforço mecânico nem sempre é possível.

Como um dos principais problemas para a reciclagem citou a necessidade de uma estruturação da cadeia de fornecimento, para que seja possível levar o resíduo PCR para empresas que efetivamente consigam realizar a separação desse material. O segundo problema principal são as restrições técnicas, que fazem com que não seja possível utilizar grandes quantidades de materiais reciclados em alguns setores, gerando a necessidade de uma logística reversa que leve esses materiais para setores com menor necessidade mecânica, como utilidades domésticas por exemplo.

4.3.3 Entrevista com Dr. Júlio Harada.

O autor do livro Plásticos de Engenharia – Tecnologias e Aplicações, Dr. Júlio Harada foi contatado por mensagens e relatou que em relação à reciclagem de plásticos de engenharia a parte majoritária do resíduo pós indústria é reciclado, porém com o material pós consumo a reciclagem é “praticamente zero”. De acordo com Dr. Harada, isso se dá porque as cooperativas não conseguem realizar a separação desses materiais.

Foi questionado também se a existência de aditivos impossibilita a reciclagem com material não aditivado. Sobre isso disse que é possível a reciclagem de forma concomitante, porém depende da aplicação desse material reciclado. Sugeriu que esse material seja reutilizado em peças com menores níveis de responsabilidade, por conta da diminuição das propriedades mecânicas do material. Além disso, relatou que é possível também a mistura de material virgem e material reciclado sem grandes variações em peças, desde que se respeite um percentual de 20% do material reciclado.

4.4 Pesquisa primária com empresas do setor.

No presente trabalho foram contatadas 15 empresas atuantes no setor de reciclagem. Foram elaboradas 10 perguntas para os recicladores e 7 perguntas para os especialistas do setor, mostradas nos Anexos A e B, respectivamente. As respostas foram compiladas em forma de gráficos e tabelas. Exemplificando, a Tabela 5 mostra as respostas para as perguntas: 1) “Trabalha com plásticos de engenharia e quais tipos?”; 5) “Plásticos de engenharia normalmente são separados em baixa quantidade pelas cooperativas, isso gera um problema logístico?”; e 6) “O que você acredita que sejam os maiores problemas para a reciclagem mecânica de plásticos de engenharia, além do baixo volume?”.

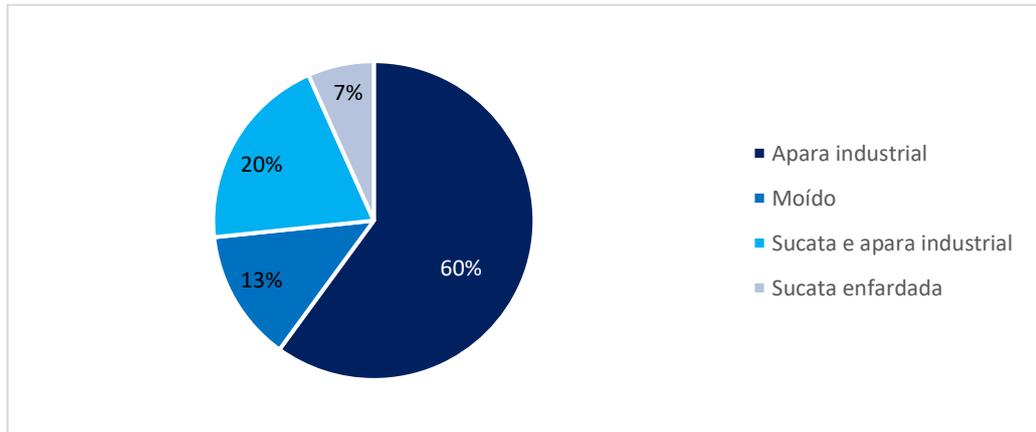
Tabela 5: Respostas dos questionários aplicados.

Compilação das respostas dos questionários aplicados

Empresa	Pergunta 1)	Pergunta 5)	Pergunta 6)
Empresa 1	PS, ABS e PC	Não, mas gera custo.	N.I.
Empresa 2	Não	Sim, é o principal problema	A falta de padronização dos materiais.
Empresa 3	PS, ABS, PA, PC e outros	Não	Necessidade de mão de obra
Empresa 4	PS, ABS, PA, PC e outros	Não, mas gera custo.	Odor residual no material reciclado
Empresa 5	PS, ABS, PA, PC e outros	Sim	N.I.
Empresa 6	PS, ABS e PC	Sim, é o principal problema	Dificuldade de utilizar no mercado de alimentos
Empresa 7	Sim, não especificado	Sim	Dificuldade de separação
Empresa 8	Sim, não especificado	Sim	N.I.
Empresa 9	Sim, não especificado	Não	Dificuldade de separação
Empresa 10	PS e ABS	Sim	Falta de acesso ao resíduo pós consumo
Empresa 11	PS, ABS, PA, PC e outros	Não, mas gera custo.	A falta de padronização dos materiais.
Empresa 12	PS e ABS	Sim	Dificuldade de separação
Empresa 13	PS e ABS	Não	A falta de padronização dos materiais.
Empresa 14	PS e ABS	Sim	Dificuldade de separação
Empresa 15	PS, ABS e PA	Sim	Dificuldade de separação

Para a pergunta 2) “De que forma esses resíduos chegam na empresa (sucata, moído)?”, as respostas estão representadas na Figura 15. Observa-se na referida Figura que a maioria (60%) dos resíduos que chegam nas empresas é na forma de aparas industriais.

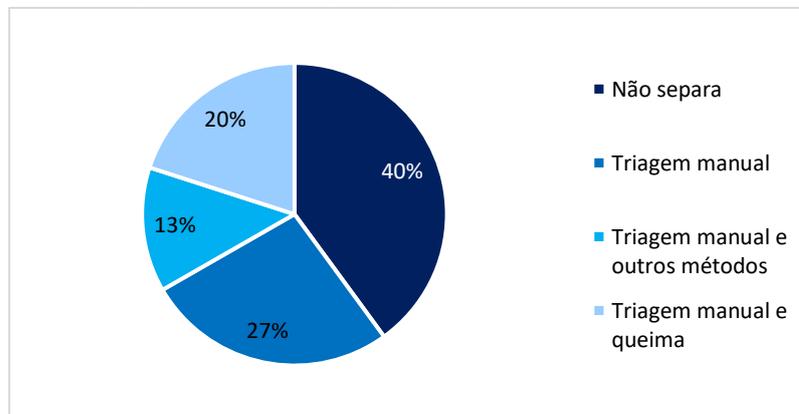
Figura 15: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “de que forma esses resíduos chegam à empresa (sucata, moído, etc)”



Fonte: Autor

Para a pergunta 3) “Caso realize um processo de separação, como ele é feito?” as respostas estão mostradas na Figura 16, sendo que 40% das empresas consultadas não separa os resíduos, 27% realiza triagem manual, 20% triagem manual e queima e 13% triagem manual e outros métodos.

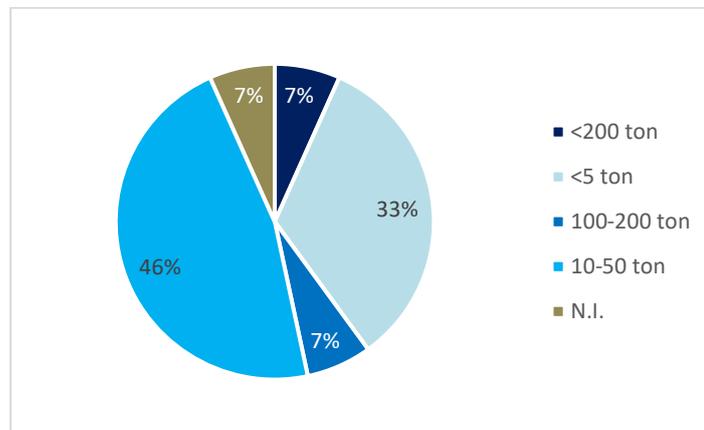
Figura 16: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “Caso realize um processo de separação, como ele é feito?”



Fonte: Autor

Para a pergunta 9) “Qual o volume de resíduos plásticos de engenharia que trabalha mensalmente?”, as respostas estão representadas na Figura 17, onde 46% das empresas consultadas processam entre 10 e 50 t mensais e 33% processam menos de 5 t mensais.

Figura 17: Respostas do questionário aplicado referentes a pergunta “Qual o volume de resíduos plásticos de engenharia que trabalha mensalmente?”



Fonte: Autor

No questionário, a pergunta 6) solicitava aos respondentes quais os maiores problemas da reciclagem mecânica de plásticos de engenharia na visão dos empresários, cujas respostas variaram como já foi apresentado na Tabela 5. Desses problemas, o que foi mais recorrente, abordado na pergunta 5), foi a dificuldade logística de acessar uma grande quantidade de resíduos de plásticos de engenharia, com 9 empresas (60%) relatando que isso era um grande problema e 3 empresas (20%) relatando que isso pesa nos custos de produção. O segundo problema mais citado foi a dificuldade de separação e necessidade de mão de obra para a realização desse trabalho, citado por 8 empresas (53%).

4.5 Relação entre reciclagem de plásticos de engenharia e outros polímeros.

Como demonstrada na Tabela 2, os plásticos de engenharia são reciclados em baixa quantidade frente aos outros polímeros. O PET, que é o plástico mais reciclado no Brasil, possui uma perda de 17%, com 94% da sua produção proveniente de material pós consumo. Já os plásticos de engenharia possuem uma perda de 5%, com apenas 15% da produção proveniente de material pós consumo. Essa relação entre uma perda maior e maior utilização de resíduo pós consumo já era esperada, já que as aparas industriais necessitam de menos lavagem e chegam com menos contaminantes.

Considerando os polímeros que possuem maior volume de reciclagem, PET, PEAD, PEBD e PP, foi relatado nas conversas tanto com especialistas quanto com empresários que uma das vantagens da reciclagem desses materiais é a facilidade de separação. Esses materiais, além de serem os mais comumente encontrados nos descartes urbanos, possuem utilizações específicas e normalmente não intercambiáveis (com exceção de alguns produtos de PP e PEAD). Essa facilidade de separação não se verifica nos plásticos de engenharia, onde os mais utilizados na reciclagem são o PS, o ABS e em alguns casos PC e PA. Mesmo nessas utilizações as empresas que trabalham com esses materiais são altamente especializadas,

trabalhando com sistemas mais complexos de triagem ou, como encontrado no questionário, realizam uma conformação de qualidade com aparas industriais.

Pelas respostas tanto dos especialistas do setor quanto dos empresários, uma das razões da baixa reciclabilidade é a baixa capacidade do setor de reciclagem de segregar esses polímeros dos materiais pós consumo coletado. Como o número de tipos de plásticos de engenharia é muito grande, a dificuldade de separação por meio de bancada, densidade ou mesmo teste de chama acaba diminuindo a confiabilidade da não contaminação dos polímeros.

5 Conclusões e Trabalhos Futuros

O contexto da reciclagem no Brasil é um cenário complexo, com uma faceta social que se mescla com um contexto econômico e ambiental importante. A necessidade por materiais mais baratos e ambientalmente corretos induz a ações por parte de empresas para essa área, com elas tendo cada vez mais um enfoque ambiental na sua produção.

Com relação ao fluxo de materiais reciclados no Brasil é perceptível que as cooperativas e sucateiros têm um papel fundamental para grande parte dos plásticos. Esse papel não é o mesmo quando se trata de plásticos de engenharia, já que a reciclagem desses materiais é feita majoritariamente de aparas industriais.

A dificuldade de separação de plásticos de engenharia, aliada a baixa capacitação técnica de cooperativas e do setor da reciclagem em geral, é um empecilho na utilização do material pós consumo. A separação dos resíduos sólidos no Brasil é feita em sua maioria de forma manual, com poucas técnicas de separação além do visual e ainda menos utilização de técnicas de laboratório. Portanto a necessidade de uma mão de obra qualificada e de linhas de lavagem para a reciclagem mecânica trazem um peso econômico que inviabiliza a reciclagem de plásticos de engenharia para grande parte das empresas.

Os volumes encontrados para o setor de eletroeletrônicos e para o setor automotivo demonstram que existe uma disponibilidade de plásticos de engenharia, principalmente PSAl e ABS. Esses volumes, porém, acabam sendo muito dispersos geograficamente e em seu tempo de uso, já que se trata de produtos com tempos de vida longos. No caso automotivo a reciclagem de suas partes é mais focada nas partes metálicas, que possuem maior valor agregado, e no caso de eletroeletrônicos muito dos plásticos de engenharia acabam sendo misturados em polímeros como PEAD e PP.

Segundo os relatos das empresas do setor não existe confiabilidade na separação dos plásticos de engenharia por cooperativas e a implementação própria de triagem dificulta a viabilidade econômica do uso de pós consumo. O pós-industrial, por outro lado, é interessante economicamente, tanto que 86% dos plásticos de engenharia reciclados são provenientes de aparas de processo. A facilidade logística de acessar maiores volumes e confiabilidade de não contaminação por outros polímeros faz com que o resíduo industrial gere menos custo, menor necessidade de mão de obra e maior garantia de qualidade.

Essas dificuldades são contornadas por algumas empresas de nicho, que apostam na questão da sustentabilidade como agregador de valor para seus produtos, mesmo entregando uma resina reciclada mais cara. Leis de incentivo à reciclagem como o Decreto nº 11.413 de 13 de fevereiro de 2023 são ações que mitigam a dificuldade econômica, incentivando os investimentos nos pontos deficitários do setor e induzindo as empresas a buscar uma postura ambiental.

Quanto aos principais problemas relatados ao longo da pesquisa, a estruturação e formalização do setor da reciclagem no Brasil é importante para ter uma capacidade de segregação e caracterização de materiais mais complexos. Além disso, a alteração dos plásticos de engenharia por plásticos com aditivos como fibras de vidro e cargas minerais facilita a reciclagem desses produtos, diminuindo a grande variação de polímeros em um único produto. A utilização de plásticos de engenharia pós consumo, portanto, atualmente não é viável em quantidades suficientes para suprir a demanda do mercado, por questões estruturais e por um problema logístico de se acumular uma grande quantidade de um único polímero para um processo economicamente viável.

REFERÊNCIAS

ANFAVEA. **Carta da Anfavea.** São Paulo, 2023. Disponível em <https://anfavea.com.br/site/carta-da-anfavea/>. Acesso em 06/02/2023.

ABIPLAST. **PERFIL 2021:As Indústrias de Transformação e Reciclagem no Brasil.** 2021. Disponível em <https://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil-2021/>. Acesso em 07/02/2023

BRASIL. **Decreto Federal nº 11.044, de 13 de abril de 2022.** Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem - Recicla+. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 abr. 2022. Seção 1, Pag. 191.

BRASIL. **Decreto Federal nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023.** Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura, no âmbito dos sistemas de logística reversa de que trata o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 2023. Edição Extra A, Pag. 1.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Pag. 3.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Lixão Zero já encerrou mais de 800 lixões em todo o Brasil;** 14 jul. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/programa-lixao-zero-ja-encerrou-mais-de-800-lixoes-em-todo-o-brasil> . Acesso em: 17 jan. 2023.

BRASIL. **Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre saneamento(SNIS).** Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional de Informações sobre a gestão de resíduos Sólidos.** Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.sinir.gov.br/relatorios/nacional/>. Acesso em: 20 dez. 2022.

CHEVROLET NOTÍCIAS. **CHEVROLET FECHA 2020 NA LIDERANÇA E GM ANUNCIA RETORNO DOS INVESTIMENTOS.** Revista Chevrolet Notícias, 2021. Disponível em: <https://media.gm.com/media/br/pt/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/br/pt/2021/jan/0105-chevrolet.html>. Acesso em: 09/01/2023.

COMPOSTOS. **Saiba onde utilizar os compostos de PP.** Revista Compostos, 2022. Disponível em: <https://www.compostos.com.br/blog/saiba-onde-usar-os-compostos-de-pp>. Acesso em: 07/01/2023.

FOSTER, A.; SOUZA ROBERTO, S. **Economia Circular e Resíduos Sólidos: Uma Revisão Sistemática sobre a Eficiência Ambiental e Econômica.** Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 2016.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **WHAT A WASTE: A Global Review of Solid Waste Management.** Ed. 15. 2012

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Classificação Nacional de Atividades Econômicas**. Brasília, DF: IBGE, 2023.

KUTZ, M., **Applied Plastics Engineering Handbook**, 2° ed, William Andrew Publishing, 2017.

LIMA, F; et. al. **Atlas Brasileiro de reciclagem - ANCAT**. 2021. Disponível em <https://atlasbrasileirodareciclagem.ancat.org.br/>. Acesso em 20/12/2022

MARQUES, A. **Plásticos nos automóveis: veículos mais leves e sustentáveis**. Revista automotivo, 2019. Disponível em <https://revistaautomotivo.com.br/plasticos-nos-automoveis-veiculos-mais-leves-e-sustentaveis/>. Acesso em 02/01/2023.

MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing: metodologia, planejamento**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2005.

MAXIQUIM. **Análise do consumo de PSHI e ABS pós consumo na indústria**, 2022

MAXIQUIM. **Índices de Reciclagem 2021: PICPLAST**. 2021

MCLELLAN, R.; IYENGAR, L.; JEFFRIES, B.; et al. **Living Planet Report**. 2020

MONTENEGRO, R. S. P.; SERFATY, M. E. **Aspectos gerais do poliestireno**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 16, p. 123-136, set. 2002

OLIVEIRA, R. **Quanto pesa um carro?**. Revista Notícias Automotivas, 2023. Disponível em: <https://www.noticiasautomotivas.com.br/quanto-pesa-um-carro/>. Acesso em: 20/02/2023.

TSUCHIMOTO, I.; KAJIKAWA, Y. **Recycling of Plastic Waste: A Systematic Review Using Bibliometric Analysis Sustainability**. Suíça, 1 dez. 2022.

SANT'ANNA, J. P. **Plásticos nos automóveis – Aplicações automotivas crescem**. Revista Plástico Moderno, 2020. Disponível em <https://www.plastico.com.br/plasticos-nos-automoveis-aplicacoes-automotivas-crescem/>. Acesso em 05/01/2023.

SOLER, F.D. RIBEIRO, F.M. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: Proposta de regulamentação para auditoria de sistemas de logística reversa**. XXIX Congresso Nacional do CONPEDI, 2022.

WIEBECK, H.; HARADA, J. **Plásticos de Engenharia: Tecnologias e Aplicações**. São Paulo, Artliber Editora Ltda, 2005

ANEXO A

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS RECICLADORES

Empresa:

Contato:

Telefone:

Email:

- 1) Sabe o que são plásticos de engenharia? Trabalha com materiais de engenharia? Se sim, quais?
- 2) Esses resíduos vem em que forma (sucata, moído, aparas)?
- 3) Caso venha em forma de sucata, como é feita a separação?
- 4) Sobre a grande variedade de plásticos de engenharia, você acredita que é possível a separação do resíduo pós consumo de forma eficiente? Se não, o que seria necessário?
- 5) Plásticos de engenharia normalmente são separados em baixa quantidade pelas cooperativas, isso gera um problema logístico?
- 6) O que você acredita que sejam os maiores problemas para a reciclagem mecânica de plásticos de engenharia, além do baixo volume?
- 7) A existência de aditivos nos plásticos atrapalha a reciclagem mecânica desses materiais?
- 8) Conhece alguma iniciativa para incentivar o uso desses materiais?
- 9) Qual o volume que trabalha mensalmente?
- 10) Quais as variações no produto que diminuiria os problemas da transformação?

ANEXO B

QUESTIONÁRIO APLICADO AOS RECICLADORES

Empresa:

Contato:

Telefone:

Email:

Como você vê o mercado de plásticos de engenharia hoje?

Sobre a grande variedade de plásticos de engenharia, você acredita que é possível a separação do resíduo pós consumo de forma eficiente? Se não, o que seria necessário?

Quais os plásticos de engenharia que poderiam aceitar uma maior quantidade de material reciclado em sua formulação?

Existe a possibilidade de incorporação do plástico engenharia reciclado em processos de menor necessidade de características mecânicas?

O que você acredita que sejam os maiores problemas para a reciclagem mecânica de plásticos de engenharia?

A existência de aditivos nos plásticos atrapalha a reciclagem mecânica desses materiais ou é possível a reciclagem de material aditivado e não aditivado de forma concomitante?

Como é a visão do setor para materiais reciclados?