

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MELHORIA DO PROCESSO DE GESTÃO DE RESÍDUOS PERIGOSOS
NA INDÚSTRIA DE ELETRODOMÉSTICOS: UM ESTUDO DE CASO
EM UMA EMPRESA MULTINACIONAL

EDUARDO CÔNSOLO ROSSETTO

Trabalho de Graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos

Orientador: Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa

São Carlos - SP
2024

Trabalho de Graduação apresentado no dia 09 de Setembro de 2024 perante a seguinte banca examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Profa. Dra. Paula Rúbia Ferreira Rosa, DEQ/UFSCar

Convidado: Profa. Dra. Ana Marta Ribeiro Machado, DGR/UFSCar

Professor da Disciplina: Prof. Dr. Ruy de Sousa Junior, DEQ/UFSCar

RESUMO

A gestão eficiente de resíduos perigosos é um pilar crucial para a sustentabilidade na indústria de eletrodomésticos, onde a necessidade de inovação e práticas ambientalmente responsáveis se torna cada vez mais premente. Este estudo se concentrou em uma indústria de eletrodomésticos, buscando minimizar o volume de resíduos perigosos enviados a coprocessamento através da adoção de práticas sustentáveis e de economia circular. Metodologicamente, foram feitas visitas técnicas, entrevistas com colaboradores, análises de dados e de planilhas da empresa, para diagnosticar a gestão atual de resíduos e explorar novas estratégias de tratamento e reutilização, alinhadas à Política Nacional de Resíduos Sólidos. Entre as práticas avaliadas, destacam-se o rerrefino de óleo, separação de emulsão oleosa, reutilização de materiais a partir da lavagem de toalhas industriais, reutilização de galões contaminados para fabricação de tijolos ecológicos. Cada método foi avaliado quanto às suas vantagens ambientais, potencial de redução de custos operacionais e viabilidade técnica. Com base nas análises e na implementação das recomendações para uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável, foi estimado a redução de custos operacionais a partir do tratamento da emulsão oleosa (R\$109.740,00), a reutilização de toalhas industriais (R\$28.720,00), treinamento de conscientização sobre coleta seletiva (R\$6.500,00) e destinação de embalagens plásticas para produção de tijolos ecológicos (R\$520,00), obtendo-se uma redução total de 67% nos resíduos enviados ao coprocessamento e uma economia aproximada de R\$145.000,00, considerando a alteração na destinação final dos resíduos e a reutilização de materiais. Conclui-se, desta maneira, que as propostas resultaram na diminuição dos custos operacionais e na mitigação dos impactos ambientais, reforçando práticas de economia circular e o compromisso da empresa com a sustentabilidade.

Palavras-chave: Resíduos Perigosos, Sustentabilidade, Economia Circular, Impactos ambientais e econômicos

ABSTRACT

Efficient hazardous waste management is a crucial pillar for sustainability in the household appliance industry, where the need for innovation and environmentally responsible practices is becoming increasingly urgent. This study focused on a household appliance industry, aiming to minimize the volume of hazardous waste sent for co-processing through the adoption of sustainable practices and circular economy principles. To achieve these goals, technical visits, interviews with employees, data analysis, and company spreadsheet reviews were conducted. Using a methodological approach, an assessment of the current waste management practices was performed, including an analysis of environmental and economic impacts, and the investigation of new strategies for waste treatment and reuse in accordance with the National Solid Waste Policy. Methods explored included reducing the use of hazardous components, re-refining oil, separating oily emulsions, reusing materials from industrial towel washing, reusing contaminated containers for eco-brick production, and replacing compounds with less harmful alternatives. Each method was evaluated for its environmental benefits, potential for reducing operational costs, and technical feasibility. Based on the analyses and the implementation of recommendations for more efficient and sustainable waste management, it was estimated that there would be a reduction in operational costs from treating oily emulsions (R\$109,740.00), reusing industrial towels (R\$28,720.00), awareness training on selective collection (R\$6,500.00), and repurposing plastic packaging for eco-brick production (R\$520.00), resulting in a total reduction of 67% in waste sent for co-processing and an approximate savings of R\$145,000.00, considering changes in final waste disposal and material reuse. It was concluded that these proposals resulted in reduced operational costs and mitigated environmental impacts, reinforcing circular economy practices and the company's commitment to sustainability.

Keywords: Hazardous Waste, Sustainability, Circular Economy, Environmental and Economic Impacts

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	Fluxograma de classificação de resíduos	7
Figura 3.2	Pirâmide dos 5R's da sustentabilidade	13
Figura 3.3	Processo de formação da emulsão oleosa	23
Figura 3.4	Processo de incineração de resíduos	27
Figura 3.5	Processo de coprocessamento	28
Figura 3.6	Fluxograma do processo de regeneração de óleo lubrificante	31
Figura 4.1	Fluxograma dos macroprocessos da indústria	32
Figura 4.2	Ilustração da planta industrial	33
Figura 4.3	Fluxogramas da coleta de resíduos perigosos	35
Figura 5.1	Comparação da produção de resíduos perigosos e não perigosos	39
Figura 5.2	Resíduos perigosos gerados na empresa	40
Figura 5.3	Áreas responsáveis pela geração de resíduos perigosos	41
Figura 5.4	Quantidade de óleo utilizado nas injetoras devido a problemas de manutenção (Litros)	46
Figura 5.5	Práticas que visam o aumento da eficiência do gerenciamento de resíduos perigosos	48
Figura 5.6	Principais óleos utilizados na indústria	49
Figura 5.7	Relatório do ensaio de identificação da amostra de emulsão oleosa	53
Figura 5.8	Representação dos barris com emulsão oleosa e sua composição	54
Figura 5.9	Fluxograma das etapas para realização da proposta de reutilização do óleo	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Classificação de cores segundo CONAMA	8
	Classificação dos resíduos e exemplos de acordo com a ABNT	
Tabela 3.2	NBR 10.004	9
	Principais destinações dos resíduos perigosos industriais em	
Tabela 3.3	quantidade	18
Tabela 3.4	Identificação de óleos perigosos	21
Tabela 5.1	Controle de revisões PGRS	42
Tabela 5.2	Requisitos apresentados na plataforma online da empresa	43
Tabela 5.3	Resumo do PGRS da empresa	44
Tabela 5.4	Principais resíduos contaminados	47
	Custo de óleos hidráulicos biodegradáveis em comparação ao óleo	
Tabela 5.5	mineral	50
	Módulos de treinamento para gestão de resíduos perigosos para os	
Tabela 5.6	colaboradores	57
	Indicador de desempenho da gestão de resíduos perigosos (kg/pp)	
Tabela 5.7	em 2024	60
Tabela 5.8	Resumo dos métodos para gestão dos resíduos perigosos	61
	Potenciais benefícios econômicos dos métodos sustentáveis	
Tabela 5.9	propostos	63
	Comparação do indicador de desempenho da gestão de resíduos	
Tabela 5.10	perigosos (kg/pp) em 2024	63

NOMENCLATURA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
FISPQ	Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos
ISO	Organização Internacional de Normalização
NBR	Normas Brasileiras Regulamentadoras
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Histórico do aumento da produção de resíduos e seus impactos ambientais	4
3.2 Legislações e resoluções	6
3.2.1 Política nacional dos resíduos sólidos	6
3.2.2 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 357/2005	8
3.2.3 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente nº 275/2001	8
3.2.4 Classificação dos resíduos segundo ABNT NBR 10.004	8
3.2.5 Resolução CONAMA nº 358/2009	9
3.2.6 Resolução CONAMA nº 313/2002	10
3.2.7 Resolução CONAMA nº 362/2005	10
3.3 Abordagens e Práticas de Gestão de Resíduos	11
3.3.1 Economia circular e sustentabilidade	12
3.3.2 Resíduo zero	14
3.4 Resíduos sólidos industriais	14
3.4.1 Resíduos sólidos industriais perigosos	16
3.4.2 Impactos ambientais e sociais dos resíduos industriais perigosos	18
3.4.3 Resíduos oleosos	19
3.4.4 Resíduos oleosos na indústria de eletrodomésticos	21
3.4.4.1 Emulsão oleosa	23
3.5 Métodos de tratamento de resíduos oleosos	24
3.5.1 Incineração	26
3.5.2 Coprocessamento	27
3.5.3 Separação da emulsão oleosa	29
3.5.4 Regeneração de Óleos	30
4. MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Área de estudo	31
4.2 Avaliação e mapeamento dos resíduos perigosos e sua gestão atual	35

4.3 Identificação de pontos críticos e oportunidades na geração de resíduos perigosos	36
4.4 Exploração de Práticas para Aumento da Eficiência da Gestão de Resíduos	36
4.5 Análise econômica e de eficiência das soluções propostas anteriormente para gestão de resíduos	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1 Mapeamento dos resíduos e do atual processo de gestão	39
5.2 Pontos críticos e oportunidades na gestão de resíduos perigosos	45
5.2.1 Emulsão oleosa	45
5.2.2 Resíduos sólidos contaminados	47
5.3 Práticas que visam aumento de eficiência da gestão de resíduos	48
5.3.1 Substituição dos óleos utilizados	48
5.3.2 Manutenção corretiva e preventiva	51
5.3.3 Tratamento de emulsão oleosa	52
5.3.4 Módulos de treinamento sobre coleta seletiva	55
5.3.5 Reutilização de toalhas industriais	57
5.3.6 Utilização de galões contaminados para produção de tijolos ecológicos	59
5.4 Análise econômica das práticas propostas	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
7. BIBLIOGRAFIA	66

1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos evoluiu ao longo do tempo, passando de práticas de disposição final, como os aterros sanitários, para uma abordagem mais integrada e consciente dos impactos ambientais e de saúde. Resíduos perigosos, que incluem substâncias químicas tóxicas, inflamáveis e corrosivas, apresentam desafios significativos devido à sua potencial para causar contaminação severa do solo, da água e do ar (SILVA ET AL., 2022). A crescente escassez de recursos e a necessidade de minimizar danos ambientais destacam a importância de uma gestão eficaz desses resíduos. A adoção de práticas sustentáveis, como a economia circular e o resíduo zero, surgem como alternativas promissoras, buscando reduzir a geração de resíduos e promover a reutilização e reciclagem, em contraste com o modelo tradicional de descarte (MARTINS, 2021). Essas estratégias são essenciais para minimizar impactos ambientais e assegurar a conservação dos recursos naturais.

A gestão adequada de resíduos perigosos é crucial para garantir a proteção ambiental e a conformidade regulatória nas operações industriais. O mapeamento dos resíduos perigosos gerados na empresa se apresenta como uma etapa essencial para identificar e quantificar os resíduos produzidos. Esta análise detalhada permite determinar quais áreas e processos são responsáveis pela maior geração de resíduos perigosos, fornecendo informações valiosas para a implementação de estratégias de gestão mais eficazes. A realização desse mapeamento facilita a compreensão das fontes e volumes de resíduos, e também um fator para contribuir com a conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual estabelece normas para que haja um controle rigoroso e um planejamento adequado para a gestão de resíduos.

Além de identificar e quantificar os resíduos, é também importante avaliar as práticas atuais de gestão de resíduos perigosos com relação às diretrizes estabelecidas pela PNRS. Esta avaliação permite verificar se as práticas adotadas estão alinhadas com as melhores práticas e regulamentações ambientais, identificando possíveis pontos e áreas para melhorias. A comparação das práticas da empresa com as exigências da PNRS é importante para garantir que todos os aspectos da gestão de resíduos sejam adequados e eficientes, promovendo a redução dos impactos ambientais, a melhoria contínua das operações e o cumprimento das normas ambientais estabelecidas no Brasil.

A identificação de pontos críticos na geração de resíduos perigosos é outro passo importante para aprimorar a gestão desses resíduos e minimizar seus impactos negativos. Tal diagnóstico visa identificar as áreas e processos industriais nos quais a geração de resíduos

perigosos é mais significativa, buscando conhecer as principais causas que contribuem para a produção destes resíduos. Essa análise contempla as etapas de mapeamento de processo, obtenção de inventário, avaliação ambiental, avaliação econômica e interpretação dos resultados.

Além disso, a identificação de pontos críticos oferece oportunidades para otimizar os processos produtivos e adotar práticas mais sustentáveis. Ao focar nos motivos causadores da geração de resíduos perigosos, pode-se implementar melhorias que não só diminuam o volume de resíduos gerados, mas também aprimoram a eficiência operacional e reduzem os custos associados ao tratamento desses resíduos. Desta maneira, ao identificar e abordar esses pontos críticos, a empresa avança em sua capacidade de reduzir os impactos ambientais e promover uma gestão mais responsável dos resíduos perigosos.

Com isso, aumentar a eficiência na gestão de resíduos perigosos é essencial para minimizar os impactos ambientais e reduzir os custos associados ao tratamento e disposição final desses resíduos. Para alcançar esse objetivo, foram exploradas diversas práticas conforme as diretrizes da PNRS, focando em soluções que otimizem a gestão dos resíduos gerados. Entre as práticas analisadas estão a substituição do óleo utilizado por alternativas mais sustentáveis, a realização de manutenção corretiva e preventiva dos equipamentos, que diminui o uso excessivo de óleos e reduz a quantidade de resíduos gerados e a separação e tratamento eficientes das emulsões oleosas.

Além disso, foram consideradas práticas que visam a economia circular, como a reutilização das toalhas industriais, que ajuda a reduzir a demanda por novos materiais e minimizar o volume de resíduos enviados para coprocessamento. Também analisou-se a reutilização dos galões contaminados para a fabricação de tijolos ecológicos, outra solução que reduz a necessidade de envio de resíduos para coprocessamento. A análise dessas práticas visa identificar as que oferecem os maiores ganhos ambientais e econômicos, permitindo uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável, alinhada com as melhores práticas estabelecidas pela PNRS. Com a implementação dessas soluções, busca-se melhorar significativamente a eficiência na gestão de resíduos, promovendo um impacto ambiental reduzido e gerando redução de custos operacionais.

Por fim, este estudo de caso busca realizar uma análise econômica das práticas sustentáveis propostas para avaliar a viabilidade e a eficiência na gestão de resíduos perigosos. Este objetivo busca quantificar a destinação final dos resíduos para entender como as práticas propostas podem melhorar a eficiência da gestão e reduzir os custos associados. A análise busca estimar os custos atuais relacionados ao descarte dos resíduos, e a comparação

desses custos com os valores estimados com a possível implementação das práticas sustentáveis propostas.

Através desta análise econômica, será possível determinar os impactos financeiros das novas práticas. Ao comparar os custos atuais com os custos futuros, a empresa poderá avaliar se as práticas sustentáveis propostas oferecem benefícios econômicos significativos, além de contribuírem para a redução dos impactos ambientais.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar e melhorar o processo de gestão de resíduos perigosos em uma empresa do setor de eletrodomésticos, focando em aumentar a eficiência, reduzir impactos ambientais e custos associados, e explorar práticas sustentáveis e de economia circular para o tratamento e reaproveitamento desses resíduos.

2.2 Objetivos específicos

1) Mapear os resíduos perigosos gerados na empresa:

Visa realizar um diagnóstico qualitativo e quantitativo dos resíduos e identificar as principais fontes responsáveis por sua geração na empresa, bem como reavaliar as práticas de gestão e gerenciamentos aplicadas aos resíduos perigosos.

2) Identificar pontos críticos e oportunidades na geração de resíduos perigosos:

Propõe-se identificar pontos críticos e principais motivos das gerações de resíduos perigosos, visando aprimorar a gestão e minimizar os impactos negativos associados ao tratamento não eficaz desses resíduos.

3) Explorar práticas para aumento da eficiência da gestão de resíduos:

Com foco em aumentar a eficiência na gestão de resíduos perigosos, busca-se soluções que diminuam tanto os impactos ambientais quanto os custos associados ao tratamento e disposição final desses resíduos. Para isso, serão exploradas as viabilidades técnicas e ganhos ambientais das diferentes práticas abordadas.

4) Realizar análise econômica das práticas sustentáveis propostas

O objetivo é quantificar os resíduos perigosos dispostos por coprocessamento para avaliar como as práticas propostas podem aumentar a eficiência na gestão dos

resíduos. Além disso, pretende-se estimar os custos atuais relacionados à disposição dos resíduos, a fim de compará-los com os custos após a possível implementação das propostas para aumento da eficácia da gestão dos resíduos perigosos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Histórico do aumento da produção de resíduos e seus impactos ambientais

A geração de resíduos ao longo da história mundial está intimamente relacionada com a evolução das sociedades humanas e o avanço tecnológico. Desde os primórdios das civilizações, os seres humanos produzem resíduos como consequência de suas atividades cotidianas. Nas antigas sociedades, os resíduos eram predominantemente orgânicos e compostáveis, incluindo restos de alimentos e cascas, que se decompõem de forma natural e rápida. (SILVA, 2020).

Com o surgimento das primeiras civilizações urbanas, como as do Antigo Egito, houve um aumento na produção de resíduos junto ao crescimento da população, urbanização e especialização das atividades econômicas. Mesmo assim, os métodos de gestão de resíduos nessas sociedades ainda eram relativamente simples, com muitos resíduos orgânicos sendo usados para adubar solos agrícolas e também com poucos resíduos sólidos. (SILVA, 2020)

Durante a Idade Média, as cidades europeias enfrentaram desafios crescentes devido ao aumento da produção de resíduos, como restos de alimentos, esgoto e resíduos industriais rudimentares. No entanto, foi apenas com a Revolução Industrial, a partir do século XVIII, que a produção de resíduos atingiu novos patamares. O surgimento de indústrias pesadas, urbanização acelerada e o advento da produção em massa resultaram em uma quantidade significativamente maior de resíduos industriais e urbanos, muitos dos quais poluentes e difíceis de decompor.

O avanço da globalização, considerada um dos principais impulsionadores do aumento da eficiência produtiva e comercial, assim como do progresso na qualidade de vida e urbanização, também tem sua parcela de responsabilidade no agravamento da degradação ambiental. Isso ocorre, entre outros fatores, devido ao descarte de produtos obsoletos e à produção excessiva de resíduos. (Garcia et al., 2015)

Segundo Silva (2018), o aumento produtivo após a Revolução Industrial impulsiona a exploração dos recursos naturais, levando a um aumento na produção de resíduos. Além disso, novas substâncias e materiais têm sido introduzidos na natureza, aumentando a ameaça

à sustentação do planeta devido a forma como a produção e o consumo têm evoluído resultando na geração de grandes volumes de resíduos.

A partir dos anos 1970, a percepção das limitações do desenvolvimento desenfreado da urbanização e industrialização começou a impulsionar na sociedade a consideração de questões relacionadas à degradação ambiental. Consequentemente, a discussão sobre a necessidade de alcançar um desenvolvimento sustentável tem ganhado destaque (RODRIGUES; REBELATO, 2005). Nos anos subsequentes, na conferência de 1972 da Organização das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, o cenário industrial passou por um período de reflexão e ação em relação aos seus impactos ambientais, que trouxe à tona a necessidade de mitigar os efeitos negativos das atividades industriais sobre o meio ambiente. Ao longo dos anos, surgiram diversas estratégias e tecnologias voltadas para minimizar os danos causados pela poluição industrial. Em 1987, um relatório pioneiro introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável, fornecendo uma diretriz crucial para a busca de práticas industriais mais equilibradas e responsáveis (PHILIPPI, 2014)

De acordo com Silva (2013), por muitos anos, o Brasil careceu de regulamentação adequada em relação aos resíduos sólidos, sendo somente nos anos 90 que as discussões sobre o tema tiveram início. Essas discussões ambientais no Brasil ganharam destaque durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, conhecida como Eco-92. Este evento representou um marco significativo para a promoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, especialmente no que diz respeito à gestão dos recursos naturais. Como resultado, estratégias foram implementadas visando a redução do consumo de combustíveis fósseis, o desenvolvimento de tecnologias para reutilização de recursos naturais e a harmonização entre economia, uso responsável dos recursos e destinação correta dos resíduos, visando evitar danos significativos ao meio ambiente e à saúde pública.

De acordo com Marques (2005) são raras as atividades desenvolvidas pelos seres humanos nas quais não há geração de resíduos ou interferência no meio ambiente. Rocha (2006) afirma que como resultado do consumo excessivo dos recursos e das transformações de materiais observou-se aumento na produção de resíduos sólidos e efluentes líquidos, acarretando efeitos prejudiciais ao meio ambiente. Estas afirmações associadas ressaltam a importância e necessidade de discussões e legislações para gestão dos rejeitos.

O consumo excessivo dos recursos vem aumentando nos dias atuais, segundo dados da Política Nacional dos Resíduos Sólidos de 2010 para 2020 houve um aumento de aproximadamente 8,5% na geração de resíduos sólidos, os quais estão fortemente interligados

à cultura consumista emplacada na sociedade. Segundo o relatório “Planeta Vivo” divulgado pela organização Fundo Mundial para a Natureza (WWF, 2012), a população mundial já estaria consumindo 50% a mais de recursos que o planeta pode produzir de forma sustentável. Se não houver uma mudança de comportamento, em 2030, mesmo dois planetas não seriam suficientes para atender a demanda. Desta maneira faz-se extremamente necessária a mudança cultural com o consumo e geração de resíduos (MARTINS, J. D. D.; RIBEIRO, M. F, 2021).

3.2 Legislações e resoluções

3.2.1 Política nacional dos resíduos sólidos

No Brasil, a Lei 12.305/2010 sancionada em 02 de agosto de 2010 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), regulamentando princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos. Essa legislação representa um marco extremamente importante no contexto nacional, estabelecendo exigências legais para os geradores de resíduos sólidos, promovendo a conscientização social e a partilha de responsabilidades entre os diferentes atores ao longo do ciclo de vida dos produtos. (BRASIL, 2010).

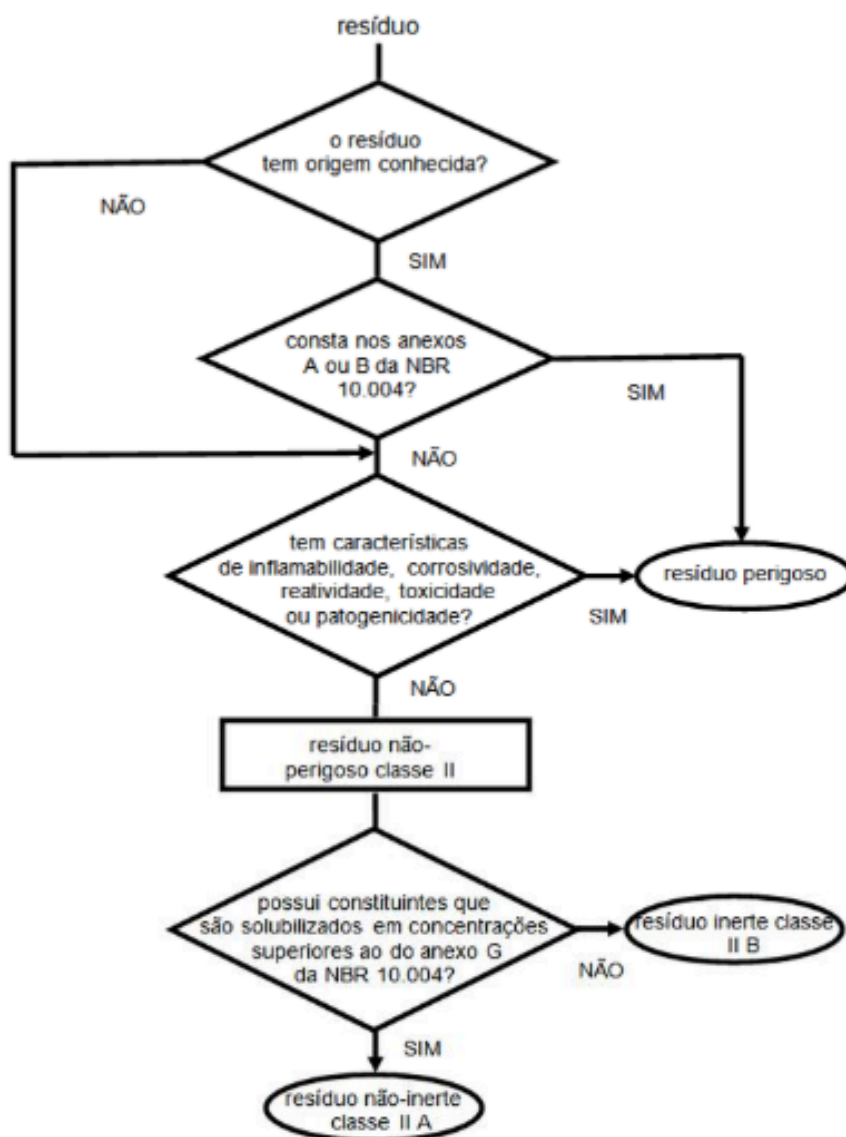
A PNRS reúne uma série de princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, metas e ações. Entre seus princípios, destaca-se a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, o que significa que todos os envolvidos nesse ciclo têm a obrigação de se comprometer a reduzir o volume de resíduos, rejeitos e impactos negativos. Um dos objetivos principais da gestão e gerenciamento de resíduos é priorizar a ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BARBOSA, 2016).

Esta política nacional também avalia a eficácia da gestão de resíduos perigosos de uma empresa através de vários critérios. Estes incluem a elaboração e implementação de um Plano de Gestão de Resíduos Sólidos, a criação de inventários de resíduos, a segregação e rotulagem corretas, o armazenamento adequado, o transporte e destinação final conforme normas ambientais, e a adoção de ações de redução, reutilização e reciclagem. Além disso, a capacitação dos funcionários e a realização de monitoramentos contínuos e auditorias são essenciais. A utilização de indicadores de desempenho ambiental, como a redução na geração de resíduos, também é fundamental para garantir práticas sustentáveis e em conformidade

com os princípios da PNRS (MAIELLO; BRITTO, 2018)

De forma resumida, a Figura 3.1 abaixo apresenta em forma de fluxograma os passos a serem realizados com os resíduos de acordo com as definições da PNRS. Para que, desta forma, seja realizada a destinação e tratamento correto de acordo com a característica do resíduo.

Figura 3.1 - Fluxograma de classificação de resíduos



Fonte: ABNT (2004a)

3.2.2 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005

Esta resolução estabelece diretrizes e critérios para a classificação dos corpos de água e para o enquadramento de qualidade das águas no Brasil, além de definir as condições e padrões de lançamento de efluentes, tornando-se um marco regulatório importante para a proteção dos recursos hídricos no Brasil, proporcionando uma base legal para a gestão sustentável e o controle da poluição das águas, essencial para a saúde pública e a conservação ambiental.

3.2.3 Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 275/2001

A resolução do CONAMA de 25 de abril de 2001 estabelece: "código de cores, como mostrado no Tabela 3.1, para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva

Tabela 3.1 - Classificação de cores segundo CONAMA

Cor	Tipo de Resíduo
Azul	Papel e Papelão
Vermelho	Plásticos
Verde	Vidro
Amarelo	Metais
Preto	Madeira
Cinza	Resíduos gerais não recicláveis ou contaminados
Laranja	Resíduos perigosos
Roxo	Resíduos radioativos
Marrom	Resíduos orgânicos
Branco	Resíduos de serviços de saúde

Fonte: CONAMA 275/2001

3.2.4 Classificação dos resíduos segundo ABNT NBR 10.004

Segundo esta norma, define-se resíduos sólidos e semi-sólidos como rejeitos produzidos por diversas atividades, como indústrias, residências e hospitais. Esta categoria inclui também os resíduos provenientes de processos de tratamento de água, os gerados em

sistemas de controle de poluição, além de certos líquidos com características específicas que não podem ser descartados nos esgotos públicos ou corpos d'água, ou que demandam soluções técnicas e econômicas impraticáveis com a tecnologia atual.

A ABNR NBR 10.004 tem como objetivo o gerenciamento apropriado para resíduos sólidos de acordo com os perigos que representam para o meio ambiente e a saúde pública. Para classificação dos resíduos faz-se necessário identificar o processo produtivo de origem, as características e constituintes e por fim compará-los com as listagens dos resíduos já identificados. Deste modo os resíduos podem ser categorizados em três diferentes classes, apresentados na Tabela 3.2 abaixo.

Tabela 3.2 - Classificação dos resíduos e exemplos de acordo com a ABNT NBR 10.004

Classe	Descrição	Exemplos
Classe I - Perigosos	Devido às suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e patogenicidade podem apresentar risco à saúde pública e ao meio ambiente.	Solventes, óleos usados, resíduos hospitalares, pilhas e baterias.
Classe II A - Não Inertes	Aqueles que não se enquadram nos resíduos Classe I ou II B e que podem ter propriedades como combustibilidade, solubilidade em água ou biodegradabilidade	Resíduos orgânicos, papel, plástico, metais não contaminados.
Classe II B - Inertes	Resíduos que, quando submetidos a testes de solubilização, não têm nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.	Entulho, restos de construção civil, vidro não contaminado.

Fonte: ABNT NBR 10004

3.2.5 Resolução CONAMA nº 358/2009

A resolução do CONAMA n/ 358/2009, classifica no seu Anexo A, os resíduos sólidos em grupos distintos para facilitar seu manejo e tratamento adequado. A classificação inclui, entre outros, os resíduos domiciliares, que são gerados pelas atividades do dia a dia das residências; os resíduos de serviços de saúde, que envolvem materiais potencialmente contaminados oriundos de hospitais e clínicas; e os resíduos industriais, provenientes de processos produtivos e industriais. Além disso, são contemplados os resíduos de construção civil, que surgem das atividades de construção e demolição, e os resíduos perigosos, que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou toxicidade,

exigindo cuidados especiais no manejo. Essa classificação permite a aplicação de procedimentos específicos para a coleta, transporte, tratamento e disposição final, garantindo que cada tipo de resíduo seja tratado de maneira a minimizar impactos ambientais e riscos à saúde pública.

Ademais, a resolução também estabelece diretrizes para a gestão integrada dos resíduos, com o objetivo de promover a sustentabilidade e a proteção ambiental. O seu objetivo principal é assegurar que todos os resíduos gerados sejam manejados de maneira adequada, através da implementação de práticas que visem a redução, reutilização e reciclagem sempre que possível. Para alcançar isso, a resolução incentiva a adoção de tecnologias e processos que minimizem a geração de resíduos e promovam a economia circular.

3.2.6 Resolução CONAMA nº 313/2002

A Resolução CONAMA nº 313/2002 estabelece diretrizes para a elaboração do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais no Brasil. Este inventário é um instrumento de controle ambiental que reúne informações detalhadas sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos industriais. Esta resolução é fundamental para o controle e gerenciamento adequado dos resíduos sólidos industriais, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade nas atividades industriais.

3.2.7 Resolução CONAMA nº 362/2005

Esta resolução estabelece diretrizes para a gestão ambientalmente adequada dos óleos lubrificantes usados ou contaminados no Brasil. Define responsabilidades para fabricantes, importadores, comerciantes e geradores, assegurando a criação de sistemas de coleta eficientes certificados pelos órgãos ambientais. Regula o transporte e armazenamento dos óleos para prevenir riscos ambientais e à saúde pública, e estipula que a destinação final deve ocorrer por rerrefino, reciclagem ou outros métodos ambientalmente corretos, proibindo o descarte inadequado. A fiscalização é responsabilidade dos órgãos ambientais, e infratores estão sujeitos a penalidades, incluindo multas.

3.3 Abordagens e Práticas de Gestão de Resíduos

As atividades industriais são, em resumo, caracterizadas pela transformação de matéria-prima em produtos e subprodutos, estes muitas vezes inevitáveis e indesejáveis, chamados de resíduos (SCHALCH et al., 2019). O manejo adequado dos resíduos é uma estratégia crucial para a preservação do meio ambiente, além de promover e proteger a saúde (GOUVEIA, 2012). O gerenciamento dos resíduos sólidos contribui para uma produção mais limpa, trabalhando como uma estratégia econômica e ambiental integrada aos processos e produtos. O objetivo de gerenciá-los é aumentar a eficiência no uso das matérias-primas, reduzir a quantidade de resíduos gerados ou, preferencialmente, eliminar sua geração e disposição final (SIMIÃO, 2011). Um gerenciamento eficaz dos resíduos requer um conhecimento amplo e atualizado sobre as diferentes fontes geradoras. Para alcançar um desempenho ambiental ideal, as empresas devem implementar procedimentos para monitorar e controlar a geração, coleta, manuseio e disposição de seus resíduos (ZUIN et al., 2009).

Segundo Ritter (2007) as primeiras atividades a serem realizadas para a garantia da redução dos riscos ambientais e de saúde pública devido aos resíduos perigosos podem ser classificadas em três etapas, são elas:

1) Identificação e caracterização dos resíduos: nesta etapa tem-se como objetivo identificar as matérias-primas utilizadas, os produtos gerados e seus locais, além das quantidades, qualidade e composições dos resíduos.

2) Análise laboratorial: esta etapa deve ser realizada somente quando a primeira etapa não concluir adequadamente as características dos resíduos perigosos. Sendo assim, tem como objetivo, a partir da norma NBR 10007/2004 da amostragem de resíduos, determinar a composição e possíveis características perigosas do resíduo coletado.

3) Classificação do resíduo: esta etapa final de identificação dos resíduos utiliza da norma ABNT NBR 10004, apresentada anteriormente, para realizar a alocação e classificação do resíduo conforme os padrões de concentração de poluentes e periculosidade.

Após realizada a classificação dos resíduos é possível determinar quais os métodos de minimização, redução e descarte são adequados. Para os resíduos perigosos, segundo a PNRS, as políticas de gerenciamento devem priorizar a redução destes nos pontos de origem. Visto a dificuldade para esta primeira ação, as políticas visam incentivar, em ordem de prioridade, à reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e para os casos em que não seja possível a realização das ações anteriores, a disposição final ambientalmente adequada.

3.3.1 Economia circular e sustentabilidade

A economia global, tradicionalmente linear, extrai recursos, produz e descarta produtos, gerando alta poluição e degradação ambiental. Esse modelo é insustentável devido à limitação de recursos naturais e à perda de valor econômico dos resíduos, muitos dos quais poderiam ser reaproveitados (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012). O United Nations Environment Programme alerta que a continuidade desse padrão pode levar à escassez de recursos para as gerações futuras.

Diante desse cenário, surge a Economia Circular como uma alternativa ao modelo linear, promovendo um ciclo fechado onde os produtos e resíduos não têm um fim, mas são continuamente reciclados e reaproveitados. Assim, resíduos não biodegradáveis são transformados em novos recursos, fechando o ciclo de uso e minimizando o impacto ambiental (KOBAYASHI, 2020).

A Economia Circular melhora a eficiência na utilização dos recursos naturais, e também desvincula o crescimento econômico do consumo excessivo de recursos, oferecendo uma estratégia para reduzir custos por meio da reutilização e venda de subprodutos que antes eram descartados (ABU-GHUNMI, 2016; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2018).

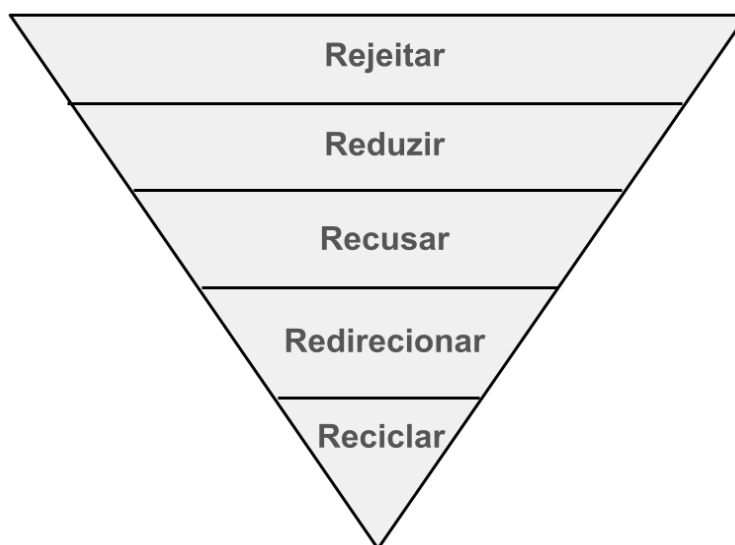
A gestão de resíduos, tradicionalmente centrada na disposição e tratamento de resíduos após sua geração, está evoluindo para incorporar conceitos da economia circular, que visa a maximização da reutilização e a minimização dos resíduos (GEISSDOERFER et al., 2017). Este modelo busca reduzir o impacto ambiental associado ao descarte de resíduos, também promove a eficiência dos recursos ao criar valor econômico através da recuperação e reutilização de materiais (MURRAY, 2017). Esta mudança melhora a gestão de resíduos e contribui para a sustentabilidade econômica e ambiental, alinhando-se com os princípios de desenvolvimento sustentável (SCHROEDER et al., 2019). Portanto, ao adotar práticas de economia circular, as estratégias de gestão de resíduos podem se tornar mais eficazes e integradas, promovendo um ciclo contínuo de valor e reduzindo significativamente o impacto ambiental.

A economia circular possui como diferencial a extensão da vida útil dos produtos e dos resíduos, uma vez que apresenta métodos para realizar-se escolhas economicamente e ambientalmente positivas (ABADIA, 2018). Desta forma há grande importância o estudo de estratégias de gerenciamento dos resíduos para o funcionamento da engrenagem da economia

circular (KALMYKOVA, 2018). A política dos 5R's é um método que consiste na busca por sustentabilidade a partir de cinco principais ações: repensar, recusar, reduzir, reutilizar e reciclar, as quais devem ser utilizadas nesta sequência lógica. Além disso, é uma maneira de conscientizar e enfatizar a importância das práticas sustentáveis no cotidiano das empresas (ALKMIN, 2015)

A primeira ação é repensar o processo produtivo como um todo, avaliando as matérias-primas utilizadas, os métodos de modificação, distribuição, uso e descarte. Isso envolve analisar a real necessidade de consumo e refletir sobre os hábitos produtivos. A segunda ação, recusar, implica rejeitar processos e produtos que causem danos à saúde pública e ao meio ambiente, evitando a produção e o consumo de itens desnecessários. A terceira ação, reduzir, visa diminuir o consumo de matérias-primas e produtos para minimizar desperdícios. A quarta ação, reutilizar, consiste em encontrar novas utilidades para produtos ou resíduos que seriam descartados, transformando-os em matérias-primas para outros produtos e prolongando sua vida útil. Finalmente, reciclar envolve devolver o produto ou subproduto à sua forma anterior para ser processado novamente e transformado em um novo produto (ALKMIN, 2015). A Figura 3.2 abaixo mostra a pirâmide de priorização na utilização dos 5R's, pela qual, segundo a PNRS deve-se seguir da parte superior para a parte inferior como forma de priorização.

Figura 3.2 - Pirâmide dos 5R's da sustentabilidade



Fonte: Autor (2024)

3.3.2 Resíduo zero

O conceito de resíduo zero refere-se a um modelo de gestão de resíduos que busca eliminar completamente a geração de resíduos por meio da redução, reutilização, reciclagem e compostagem de materiais, alinhando-se com PNRS no Brasil. De acordo com a PNRS, a hierarquia de gestão de resíduos prioriza a redução na fonte e a reutilização, seguidas pela reciclagem e a disposição final adequada. A implementação do resíduo zero está alinhada com essa hierarquia ao enfatizar a minimização da geração de resíduos desde a concepção de produtos até o seu ciclo de vida (SANCHES et al., 2020).

Para atingir o objetivo de resíduo zero, indústrias têm adotado práticas como a melhoria dos processos produtivos para reduzir desperdícios, a incorporação de design para a desmontagem e reutilização dos produtos e a implementação de sistemas de logística reversa. Além disso, muitas empresas estão investindo em tecnologias para a transformação de resíduos em novos produtos e promovendo a educação e engajamento dos funcionários e consumidores para promover uma cultura de consumo responsável (SILVA et al., 2022). Essas práticas não só auxiliam na conformidade com a PNRS, mas também contribuem para a sustentabilidade ambiental e econômica a longo prazo.

3.4 Resíduos sólidos industriais

As atividades industriais correspondem a um conjunto de operações relacionadas que transformam matérias primas em produtos finais, gerando inevitavelmente subprodutos e rejeitos (SCHALCH et al., 2019). De acordo com GANEM (2015), as indústrias corroboram com a poluição ambiental pela liberação de materiais particulados, gases, rejeitos líquidos e sólidos. São exemplos desses resíduos: resíduos para purificação de matéria prima, cinzas, óleos, produtos químicos básicos e ácidos, madeira, papel, plásticos, vidros, metais e entre outros diversos (IPEA, 2012).

Os resíduos sólidos industriais (RSI), segundo a PNRS são quaisquer resíduos gerados em processos produtivos e que estejam englobados em instalações industriais. (BRASIL, 2010). Considera-se também RSI, os resíduos oriundos de atividades semelhantes às residenciais, como provenientes de áreas administrativas, restaurantes e materiais infectantes de ambulatórios. (SCHALCH et al., 2019).

Devido à grande quantidade de resíduos industriais no Brasil, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos contempla na seção V o plano de gestão de resíduos industriais (PGRSI), documento obrigatório para as indústrias que identifica o tipo e a quantidade de resíduos sólidos gerados e quais as práticas ambientalmente corretas visando a gestão eficaz e sustentável destes resíduos. O plano deve conter métodos, metas e ações alinhados à redução, reutilização, reciclagem e destinação final correta dos resíduos perigosos e não perigosos (BRASIL, 2010).

O processo de construção de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) começa com o levantamento dos insumos empregados nas operações da empresa. Em seguida, descreve-se o processo produtivo e identificam-se os pontos de geração de resíduos ao longo dessa operação. Avaliam-se então os resíduos passíveis de reutilização ou reciclagem, assim como as opções de tratamento e disposição final.

Segundo Lora (2000) o gerenciamento dos resíduos industriais inicia-se no monitoramento regado da geração, em seguida na segregação dos resíduos diretamente na fonte, coleta, transporte, processamento, recuperação, tratamento e reutilização desses resíduos. Ou seja, uma eficaz gestão dos resíduos pode reduzir a quantidade de resíduos encaminhados para aterros, o que por consequência diminui a necessidade de ocupação de novas áreas para disposição e tratamento desses resíduos (LIMA; FIRKOWKI, 2019).

Além das leis e normas citadas anteriormente e das vantagens ambientais descritas acima, segundo Hansen e Mowen (2014), a gestão correta dos resíduos industriais proporciona redução de custos em três principais aspectos:

- 1) Redução de custos pela otimização dos recursos: ao empregar os recursos de forma a minimizar as ineficiências, os gastos associados serão reduzidos. Por exemplo, ao investir em práticas de preservação ambiental, é possível obter como resultado uma utilização mais eficaz dos recursos, evitando desperdícios e consequentemente diminuindo os custos;
- 2) Redução de custos devido cumprimento das normas: eliminação de gastos provenientes da não conformidade com a legislação ambiental. Por exemplo, após investir em ecopontos e coleta seletiva a empresa deixará de pagar eventuais multas uma vez que estará de acordo com a legislação ambiental;
- 3) Redução de custos com a vendas de Reciclados: com as vendas de resíduos e sucatas que não teriam valor a empresa consegue reduzir custos. Outra possibilidade está no investimento em equipamentos que permitem a reciclagem de materiais e resultam em vendas de materiais, como por exemplo moinhos trituradores de plástico que

permitem a venda de materiais antes não recicláveis.

3.4.1 Resíduos sólidos industriais perigosos

Segundo a ABNT NBR 10.004 são classificados como resíduos perigosos ou Classe I, os rejeitos que possuem nas suas características toxicidade, corrosividade, reatividade, inflamabilidade, entre outros, os quais apresentam uma ameaça à fauna, flora e à saúde pública. Considerando-se o grande volume de resíduos perigosos industriais faz-se necessário o acompanhamento das informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias do Brasil por meio do Inventário Nacional dos Resíduos Sólidos (CONAMA 313/2002).

De acordo com Pereira (2019), os principais resíduos sólidos industriais perigosos no Brasil incluem uma ampla gama de materiais que exigem gestão e tratamento específicos devido aos seus riscos à saúde e ao meio ambiente. Entre esses resíduos, destacam-se os resíduos químicos industriais, como solventes, ácidos e bases, óleos e graxas. Solventes, como tolueno, acetona e xileno, são amplamente utilizados em processos de limpeza e fabricação, mas são inflamáveis e tóxicos, necessitando de manejo cuidadoso para evitar riscos de incêndio e contaminação (BARROS et al., 2021). Ácidos, como o ácido sulfúrico, e bases, como o hidróxido de sódio, são utilizados em tratamentos de superfície e processos industriais, sendo altamente corrosivos e potencialmente perigosos para o meio ambiente e a saúde humana (SILVA et al., 2022). Resíduos de óleos e graxas, como óleos lubrificantes usados e óleos de corte, podem conter metais pesados e outros contaminantes tóxicos, representando riscos para a contaminação do solo e da água (ALMEIDA, 2023).

Além desses, os resíduos tóxicos e inflamáveis, como pinturas, vernizes e tintas, que contêm solventes orgânicos voláteis, e produtos químicos inflamáveis, como gasolina e etanol, são comuns em várias indústrias e podem causar incêndios ou explosões se não forem tratados corretamente (LIMA, 2020). Resíduos de pesticidas e herbicidas, usados na agricultura, também são preocupantes devido à sua toxicidade e persistência no ambiente.

Os resíduos reativos, como peróxidos orgânicos e nitratos, podem reagir violentamente com outros materiais, liberando gases tóxicos ou causando explosões, representando desafios adicionais para sua gestão segura (MELO, 2019). Resíduos corrosivos, incluindo resíduos ácidos de processos industriais e bases fortes, são

problemáticos devido à sua capacidade de corroer materiais e estruturas, exigindo procedimentos específicos para sua neutralização e disposição (SANTOS, 2021).

Além disso, os resíduos biológicos e patogênicos, como aqueles provenientes de laboratórios e instituições de saúde, que incluem culturas de microrganismos e materiais contaminados, são extremamente críticos devido ao potencial risco de infecção e contaminação ambiental (CARDOSO, 2023). A gestão adequada desses resíduos é essencial para proteger a saúde pública e garantir a sustentabilidade ambiental.

Como forma de controle e análise governamental, as indústrias que geram resíduos enviam seus dados para o Inventário Nacional dos Resíduos Sólidos. Esses dados são utilizados para alimentar o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), garantindo a coleta e análise de informações essenciais para a gestão adequada dos resíduos no país. A partir das informações do SINIR é possível ter conhecimento dos dados de geração, armazenagem e destinação dos resíduos perigosos gerados nos processos produtivos e instalações industriais do Brasil de empresas que enviaram seus dados ao inventário nacional.

A grande variedade de processos industriais tem como consequência uma ampla gama de resíduos industriais, dos quais grande parte se encaixa nos classe I (LIXO MUNICIPAL, 2018), com isso, as instituições necessitam investir em maneiras de gerenciar e destinar estes resíduos. Além dos relatórios que detalham as quantidades geradas e destinadas, o SINIR também apresenta os principais tipos de destinação de resíduos perigosos, alguns dos quais estão listados na Tabela 3.3 abaixo. Observa-se uma variedade de métodos de destinação, que vão desde técnicas mais simples e menos sustentáveis, como o aterramento, até métodos mais sustentáveis. Em conformidade com a política dos 5R's, destaca-se a significativa presença de reaproveitamento, reutilização e reciclagem entre as principais destinações de resíduos industriais perigosos.

Tabela 3.3 - Principais destinações dos resíduos perigosos industriais em quantidade

Tipo de Destinação	
D05 - Aterramentos especialmente projetados (aterro Classe I)	R01 - Utilização de resíduo como combustível ou outros meios de gerar energia
D09 - Tratamento físico-químico não especificado	R02 - Reaproveitamento/regeneração de solventes
D10 - Tratamentos térmicos, sem reaproveitamento energético	R03 - Reciclagem/reaproveitamento de substâncias orgânicas
D13 - Combinação ou mistura antes de se efetuar quaisquer das operações de tratamento e de disposição	R05 - Reciclagem/reaproveitamento de outros materiais inorgânicos

Fonte: Adaptado de Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (2021)

3.4.2 Impactos ambientais e sociais dos resíduos industriais perigosos

Os resíduos industriais perigosos, quando geridos de forma inadequada, podem causar graves impactos ambientais, afetando o solo, a água e o ar. A contaminação por metais pesados é particularmente preocupante, pois esses elementos podem acumular-se no solo e nos corpos d'água, resultando em efeitos adversos nos ecossistemas e na biodiversidade (BERTINO et al., 2020). Produtos químicos persistentes, como solventes orgânicos e pesticidas, têm a capacidade de permanecer no ambiente por longos períodos, causando poluição prolongada que afeta a qualidade da água e do solo (APARICIO et al., 2021). Além disso, a emissão de substâncias tóxicas no ar, como vapores de solventes e gases de incineradores de resíduos, pode contribuir para a formação de poluentes atmosféricos que prejudicam tanto a saúde humana quanto o meio ambiente (SILVA et al., 2022). A combinação desses fatores pode levar a uma degradação ambiental significativa, comprometendo a qualidade dos recursos naturais e a saúde dos ecossistemas.

A exposição a resíduos industriais perigosos pode ter sérios impactos na saúde humana, manifestando-se através de uma variedade de impactos à saúde. Metais pesados e produtos químicos tóxicos estão associados a uma série de doenças, incluindo problemas respiratórios, bem como cânceres diversos (ZHANG et al., 2019). A exposição crônica a produtos químicos tóxicos, como aqueles encontrados em solventes industriais e pesticidas,

também está ligada a distúrbios neurológicos e hormonais, como danos ao sistema nervoso e problemas endócrinos (GONZÁLEZ et al., 2020). Os trabalhadores expostos frequentemente a esses resíduos são particularmente vulneráveis, pois seus corpos são diretamente afetados por condições de trabalho insalubres (MENDOZA et al., 2021). Assim, a gestão adequada de resíduos industriais perigosos é crucial para prevenir esses riscos à saúde e proteger o bem-estar da população.

3.4.3 Resíduos oleosos

Os resíduos oleosos, parte significativa dos resíduos perigosos industriais, emergem como um tema crucial na gestão de resíduos devido à sua ampla geração e características nocivas. Esses resíduos são produzidos em grandes volumes em indústrias petroquímicas, de geração de energia e indústrias em geral que utilizam de peças estampadas e plásticas, os quais são conhecidos por suas propriedades perigosas, incluindo alta inflamabilidade e toxicidade (SANTOS et al., 2022). A presença de resíduos oleosos representa desafios únicos para a gestão e tratamento, particularmente devido à sua capacidade de formar emulsões complexas quando misturados com água, e à inclusão de contaminantes adicionais como metais pesados (SILVA et al., 2020). Essas características implicam em dificuldades não apenas no tratamento desses resíduos, mas também na sua disposição final, exigindo abordagens especializadas para mitigar os riscos associados e assegurar a proteção ambiental e à saúde pública.

De acordo com Moretto e Fett (1998), óleos e gorduras são substâncias insolúveis em água, podendo ser de origem animal, vegetal ou microbiana. Eles são formados predominantemente por ésteres do glicerol, conhecidos como triacilgliceróis, os quais resultam da esterificação entre o glicerol e ácidos graxos. Já os óleos lubrificantes são produtos derivados do refino do petróleo, com o principal componente sendo o lubrificante básico, que representa entre 80% e 90% do volume do produto final. Existem dois tipos de óleos lubrificantes básicos: os minerais, produzidos diretamente a partir do refino de petróleo, e os sintéticos, que são fabricados por meio de reações químicas a partir de derivados do petróleo (SINDIRREFINO, 2008).

Os óleos e gorduras são produtos que apresentam riscos para o meio ambiente e para a saúde pública. Por serem produtos não biodegradáveis, a diluição, quando descartado de forma incorreta no ambiente, leva muitos anos e ocasiona a infertilidade de solos e contaminação das águas (GOMES et al. 2013). Como exemplo, segundo a Companhia de

Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2018), um litro de óleo pode contaminar até vinte e cinco mil litros de água.

Devido às periculosidades do descarte incorretos dos óleos, a resolução do CONAMA 362/2005 classifica o óleo lubrificantes e hidráulicos usados como resíduos perigosos por apresentarem toxicidade, uma vez que suas deteriorações parciais, resultem na formação de compostos como ácidos orgânicos e também compostos polinucleares potencialmente carcinogênicos, estes contaminantes são em sua maioria bioacumulativos, ficam no organismo causando sérios problemas de saúde. Devido a isto, a resolução determina que todos os óleos lubrificantes usados ou contaminados devem ser recolhidos, coletados e ter destinação final correta.

Os resíduos químicos gerados em processos industriais incluem diversas categorias que demandam métodos específicos de manejo e tratamento. Solventes oleosos, frequentemente à base de petróleo, são utilizados para limpeza e diluição em processos industriais (SILVA et al., 2018). Misturas de óleo e água, formadas durante operações como o corte de metais e a limpeza de peças, resultam em emulsões que necessitam de tratamento adequado (COSTA et al., 2017). Além disso, os resíduos de óleos e graxas incluem óleos lubrificantes usados, que provêm de máquinas e motores e têm a função de reduzir o atrito entre partes móveis, óleos de corte utilizados em processos de usinagem e óleos hidráulicos, que são empregados em sistemas hidráulicos de equipamentos industriais (OLIVEIRA et al., 2021). Cada tipo de resíduo químico exige estratégias específicas de manejo para minimizar os impactos ambientais e garantir a segurança na sua gestão e disposição final. Segundo a norma ABNR NBR 10.004 os óleos perigosos são divididos e classificados de acordo com suas funções e aplicabilidade, como resumido na Tabela 3.4 abaixo.

Tabela 3.4 - Identificação de óleos perigosos

Código de identificação	Resíduo perigoso	Constituinte perigoso	Característica de periculosidade
F100	Óleos de isolamento térmico ou de refrigeração usados. Fluidos dielétricos, equipamentos, materiais e resíduos contaminados com bifenilas policloradas (PCB)	Bifenilas policloradas (PCB)	Tóxico
F130	Óleo lubrificante usado ou contaminado	Não aplicável	Tóxico
F230	Fluido e óleo hidráulico usado	Não aplicável	Tóxico
F330	Óleo de corte e usinagem usado	Não aplicável	Tóxico
F430	Óleos usados em isolamento elétrico, térmico ou de refrigeração	Não aplicável	Tóxico

Fonte: NBR 10004 (2010)

3.4.4 Resíduos oleosos na indústria de eletrodomésticos

Desde o início da revolução industrial, os óleos desempenham um papel essencial nas indústrias manufatureiras, sendo utilizados como lubrificantes para reduzir o atrito e o desgaste em máquinas e equipamentos. Com o avanço tecnológico, sua aplicação se expandiu para incluir fluidos hidráulicos e de corte (SANTOS, 2022). Parte significativa dessa produção está voltada para a linha branca, que engloba produtos como refrigeradores, lavadoras automáticas, lava-louças, secadoras de roupa e fogões (SIQUEIRA, MARQUES, 2012). Esses produtos de linha branca são compostos principalmente por peças metálicas (cerca de 60%) e peças plásticas (aproximadamente 20%) (ANTUNES, 2014), cuja fabricação depende consideravelmente do uso de óleos.

O uso de peças plásticas nas indústrias manufatureiras têm crescido desde o século XX, devido às suas características de durabilidade, leveza, versatilidade em tamanho e forma, e custo de produção (PIATTI, 2005). Esse cenário não é diferente para as indústrias de eletrodomésticos, onde peças plásticas como cestos e painéis de lavadoras são comuns. A internalização dos processos de injeção plástica, segundo Wlamir Marques da Dako, proporciona significativos benefícios de custo para essas empresas. O mesmo fenômeno da alta utilização de peças plásticas é visto também para as peças metálicas, as quais possuem como vantagens a durabilidade, resistência à corrosão e versatilidade deste material. Assim como no caso das peças plásticas, essas indústrias buscam internalizar atividades para reduzir custos, utilizando prensas hidráulicas para a moldagem de peças (ANTUNES, 2014).

O processo de injeção plástica é um método de moldagem de produtos por meio da injeção de polímeros que permite produção em grande velocidade e nas especificações necessárias para determinado produto, transformando a matéria prima em peça pronta em somente uma única etapa (GONZALES ;MAFFIA 2017). Os maquinários de injeção, segundo Mobley (2008), possui desempenho das diretamente proporcional à qualidade e quantidade de lubrificação nas mesmas. Além disso, as injetoras são máquinas hidráulicas, as quais dependem de óleos hidráulicos para gerar movimentos e força (FARHAN, 2017). Ou seja, a utilização dos óleos lubrificantes e hidráulicos são essenciais para o pleno funcionamento dessas máquinas. (KARDEC ;NASCIF, 2009).

Já as prensas, produtoras das peças metálicas, são equipamentos que fornecem uma energia suficiente para deformarem uma placa de aço, realizada através de martelo que movimenta-se de forma verticalmente linear e, ao encostar-se na chapa metálica a pressiona contra um molde, atribuindo assim o formato desejado (PALMEIRA, 2005). Para realizar essa movimentação com forte pressão as prensas eletro-hidráulicas operam com bombas hidráulicas acopladas a um motor elétrico, que gira o eixo da bomba hidráulica. Este sistema transforma a energia mecânica do motor elétrico em energia hidráulica, moldando assim a placa metálica. (CAMPOS, 2015). Assim como nas injetoras plásticas, as partes hidráulicas são compostas de óleos responsáveis pela transferência de potência, lubrificação e vedação da máquina.

Ou seja, a indústria de eletrodomésticos gera uma ampla gama de resíduos industriais, incluindo solventes, metais pesados e, especialmente, resíduos oleosos. Esses resíduos são originados em várias etapas da cadeia produtiva, que inclui processos como estampagem, pintura, montagem e manutenção de maquinários. Cada um desses processos utiliza óleos e lubrificantes que, após o uso, se transformam em resíduos complexos e frequentemente perigosos (SILVA et al., 2019).

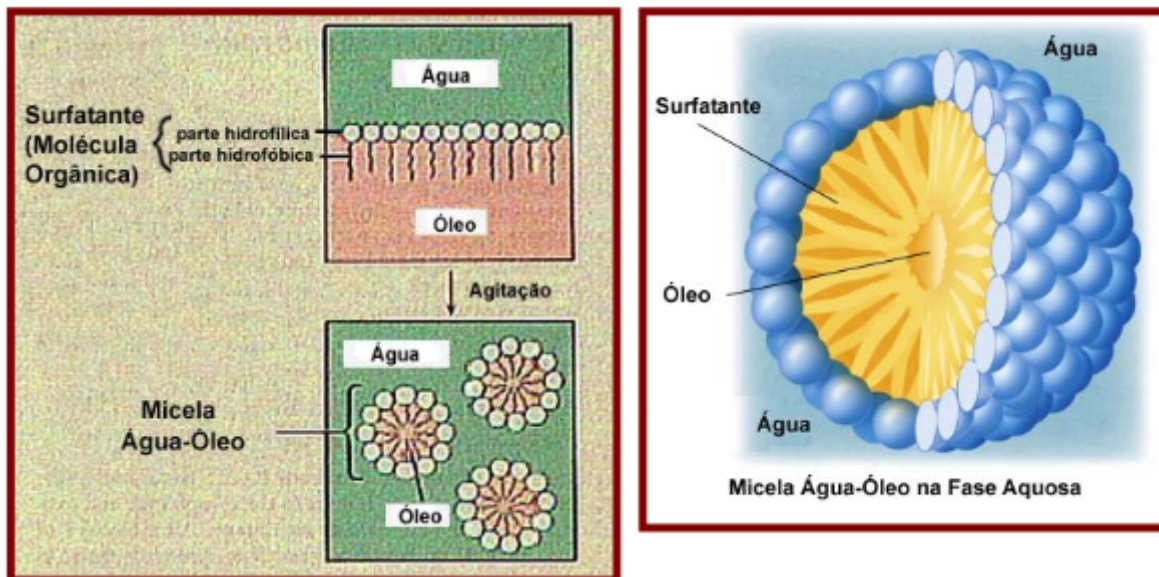
A gestão desses resíduos é particularmente desafiadora devido à sua natureza variada e à presença de contaminantes, especialmente no caso dos resíduos oleosos. As emulsões formadas e a dificuldade de separar o óleo dos outros contaminantes complicam o tratamento e a disposição desses resíduos, tornando inadequados os métodos convencionais de tratamento de resíduos sólidos (OLIVEIRA, 2019). Técnicas especializadas, como a regeneração de óleos e o co-processamento, são necessárias para lidar efetivamente com esses resíduos e minimizar seus impactos ambientais (SILVEIRA, 2021). A complexidade da cadeia produtiva e a diversidade dos resíduos gerados exigem abordagens adaptadas e

soluções inovadoras para garantir uma gestão ambientalmente adequada.

3.4.4.1 Emulsão oleosa

Emulsões são misturas de dois líquidos imiscíveis que encontram-se em duas fases, uma fase fragmentada (fase dispersa) dentro de uma outra (fase contínua), as quais são monofásicas a olho nu (DALTIM, 2012). As emulsões oleosas são sistemas polifásicos no qual o óleo é a fase dispersa e a água a fase contínua. Estes sistemas são formados a partir da junção de duas condições: primeiramente, deve haver uma dispersão mecânica do óleo na água, com a criação de minúsculas gotículas de uma fase dentro da outra. Em segundo lugar, o meio deve conter um agente químico capaz de estabilizar essas gotículas chamado de emulsificante ou surfatante, evitando sua coalescência, ou seja, impedindo que as gotículas se unam e formem novamente fases distintas. Outra característica das emulsões é que são sistemas termodinamicamente instáveis, tendendo a separar-se com o tempo em uma fase oleosa e uma fase aquosa (DALTIM, 2012). A Figura 3.3 abaixo exemplifica a formação da emulsão oleosa e a composição das micelas, moléculas que estão dispersas na fase contínua.

Figura 3.3 - Processo de formação da emulsão oleosa



Fonte: Radar industrial (2016)

Nas indústrias de eletrodomésticos, como visto anteriormente, há grande produção de peças estampadas e peças plásticas, processos nos quais há formação de emulsões é muito

comum, surgindo frequentemente como subprodutos desses processos produtivos, como a fabricação de metais e plásticos. A dispersão mecânica da mistura óleo-água, responsável pela formação das emulsões, pode ocorrer de diversas maneiras, incluindo a turbulência gerada ao passar por bombas e tubulações, o atrito com peças mecânicas, o uso de agitadores mecânicos e o borbulhamento de ar.

Em relação às questões ambientais, o descarte inadequado de emulsões oleosas pode causar sérios problemas ambientais, incluindo a contaminação do solo e da água. Essas emulsões, que são misturas de óleos e água, podem infiltrar-se no solo e poluir lençóis freáticos, comprometendo a qualidade da água subterrânea. Quando liberadas em corpos d'água, podem ser tóxicas para organismos aquáticos, afetando negativamente a fauna e a flora e prejudicando os ecossistemas aquáticos devido à sua persistência e dificuldade de degradação (SILVA et al., 2018). Portanto, é essencial adotar métodos adequados de manejo e tratamento para evitar esses impactos ambientais.

3.5 Métodos de tratamento de resíduos oleosos

Como mencionado anteriormente, as práticas consideradas sustentáveis baseiam-se na aplicação dos 5R's. No entanto, nem todos os produtos e resíduos se enquadram nas cinco alternativas apresentadas. Nesses casos, o descarte torna-se necessário. São exemplos de resíduos que devem ser descartados os considerados perigosos, contaminados de acordo com a norma ABNT NBR 10004. Para estes o descarte torna-se necessário e deve seguir as regulamentações da norma citada acima.

Os resíduos oleosos, com sua composição complexa e potencial para causar danos ambientais, exigem abordagens especializadas para tratamento e disposição. No tratamento de resíduos oleosos há cinco principais abordagens: biológico, físico, químico, térmico e de regeneração, cada uma com características específicas e aplicações próprias. Cada método possui suas vantagens e limitações, e frequentemente, uma combinação de técnicas é necessária para tratar os resíduos perigosos de maneira eficaz e segura.

O tratamento físico emprega técnicas como decantação, centrifugação e filtração para separar os componentes dos resíduos oleosos. Esses métodos são eficazes para remover a fase oleosa da água e separar sólidos contaminados, permitindo a recuperação de óleo e a redução da quantidade de resíduos líquidos e sólidos (PEREIRA, 2021).

Já o tratamento biológico conta com microorganismos para degradar os compostos orgânicos presentes nos resíduos. A compostagem e a biorremediação são técnicas comuns

nesse campo. Enquanto a compostagem transforma resíduos oleosos em compostos orgânicos mais estáveis, a biorremediação usa microrganismos para quebrar os poluentes, reduzindo a carga poluente e facilitando a gestão dos resíduos (PEREIRA, 2021). O tratamento químico, por sua vez, inclui processos como a neutralização e a oxidação química, que tratam óleos e compostos orgânicos complexos. A neutralização pode ser usada para tratar óleos ácidos, enquanto a oxidação química, como a ozonização, ajuda a decompor os compostos orgânicos presentes nos resíduos oleosos, transformando-os em produtos menos nocivos (LIMA et al., 2021).

O tratamento térmico, que utiliza do calor para tratar os resíduos, abrange a incineração e o coprocessamento. A incineração queima os resíduos a altas temperaturas, reduzindo-os a cinzas e gases. A pirólise decompõe os resíduos na ausência de oxigênio, gerando produtos como óleos e gases que podem ser utilizados como energia. Já o coprocessamento utiliza os resíduos oleosos como combustível em processos industriais, como na fabricação de cimento, substituindo parcialmente os combustíveis fósseis e aproveitando o valor energético dos resíduos (SILVA et al., 2018).

Por fim, a regeneração de óleos recupera óleos usados através de técnicas como filtração e desodorização. Esse processo permite a reutilização dos óleos em processos industriais ou sua reintegração em novos produtos, contribuindo para a economia circular e reduzindo a necessidade de novos óleos (FERREIRA et al., 2021).

Atualmente, com os avanços tecnológicos surgiram-se novas abordagens para o tratamento de resíduos oleosos, destacando-se entre elas o uso de ultrassom e biorremediação. O tratamento por ultrassom utiliza ondas sonoras de alta frequência para gerar cavitação em líquidos, o que facilita a separação e a degradação dos contaminantes presentes nos resíduos oleosos. Este método é eficiente na desintegração de emulsões e na promoção de reações químicas, além de permitir a recuperação dos óleos e a redução da carga poluente (SANTOS et al., 2021). Por outro lado, a biorremediação emprega microrganismos para degradar compostos orgânicos complexos nos resíduos oleosos, transformando-os em substâncias menos prejudiciais ou inertes. Este método é vantajoso por ser ambientalmente amigável e por sua capacidade de tratar grandes volumes de resíduos com uma intervenção mínima (SILVA et al., 2022). Entretanto, ambos os métodos apresentam custos elevados de implementação e utilização, principalmente devido à necessidade de equipamentos especializados e ao monitoramento contínuo para garantir a eficácia do tratamento (FERREIRA et al., 2021). Desta maneira, faz-se necessário estudar a viabilidade econômica para a implementação destes tratamentos tecnológicos.

3.5.1 Incineração

O método de incineração, também conhecido como tratamento térmico, é uma alternativa para a disposição de resíduos perigosos, como os resíduos oleosos e suas emulsões, desde que esteja operando dentro dos controles e normas de segurança (CONAMA, 2002). Este método surge como uma opção quando comparado à utilização de aterros, nos quais os resíduos são depositados e ocupam grandes áreas de terras e podem causar contaminações no solo e nos lençóis freáticos (ROCHA, 2006)

Ainda segundo a resolução do CONAMA, a incineração é qualquer tratamento térmico realizado em temperaturas superiores a 800°C, ou seja, é um processo de queima de rejeitos em fornos ou incineradores específicos para esta atividade. A principal vantagem deste método é significativa redução de aproximadamente 90% de volume e 75% da sua massa inicial. Outras vantagens deste processo são a destruição de microrganismos, descaracterização de resíduos perigosos e possibilidade de geração de energia. São comumente enviados para incineração resíduos materiais hospitalares contaminados, papéis e plásticos não recicláveis, resíduos orgânicos e oleosos, produtos químicos perigosos e têxteis usados, todos tratados para reduzir volume, eliminar substâncias nocivas e gerar energia. (FREIRE, 2013).

O processo de incineração pode ser, resumidamente, dividido em quatro etapas (MORGADO, 2006) e está representado na Figura 3.4 abaixo.

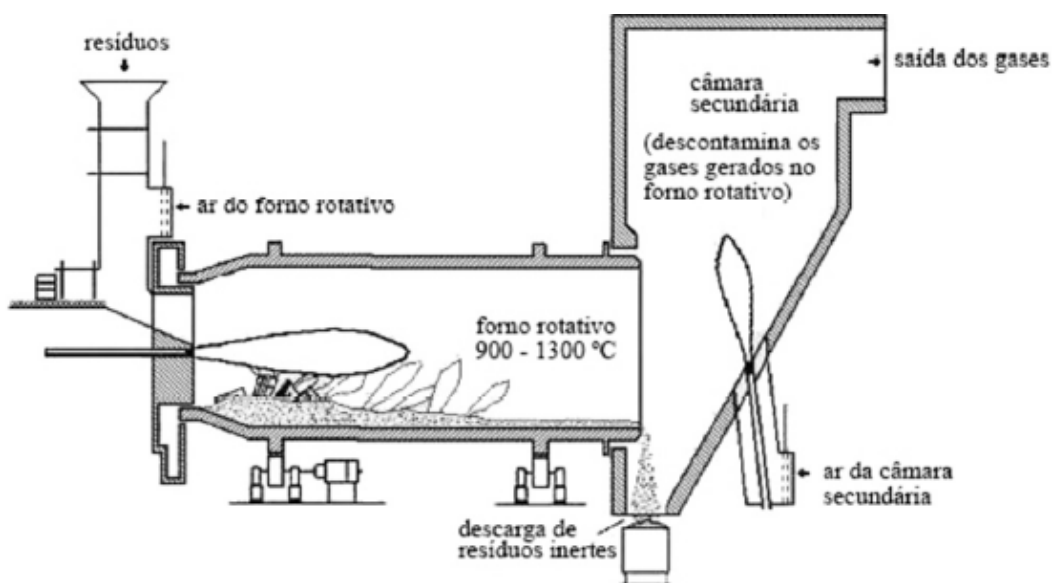
1) Alimentação do incinerador: os resíduos tratados são alimentados nos incinerados para serem utilizados como combustível

2) Combustão: os resíduos são queimados em alta temperatura para reduzir a matéria orgânica a cinzas e gases. Os gases liberados nesta primeira combustão são novamente queimados em temperaturas mais altas para garantir a completa oxidação dos poluentes.

3) Tratamento dos gases: são misturados à cal hidratada, carvão ativado e filtros de manga para remover partículas e contaminantes antes de serem emitidos à atmosfera.

4) Controle dos efluentes: as cinzas são removidas do incinerador e podem ser tratadas e reutilizadas em materiais de construção ou dispostas em aterros controlados.

Figura 3.4 - Processo de incineração de resíduos



Fonte: J. A. Poletto (2008)

3.5.2 Coprocessamento

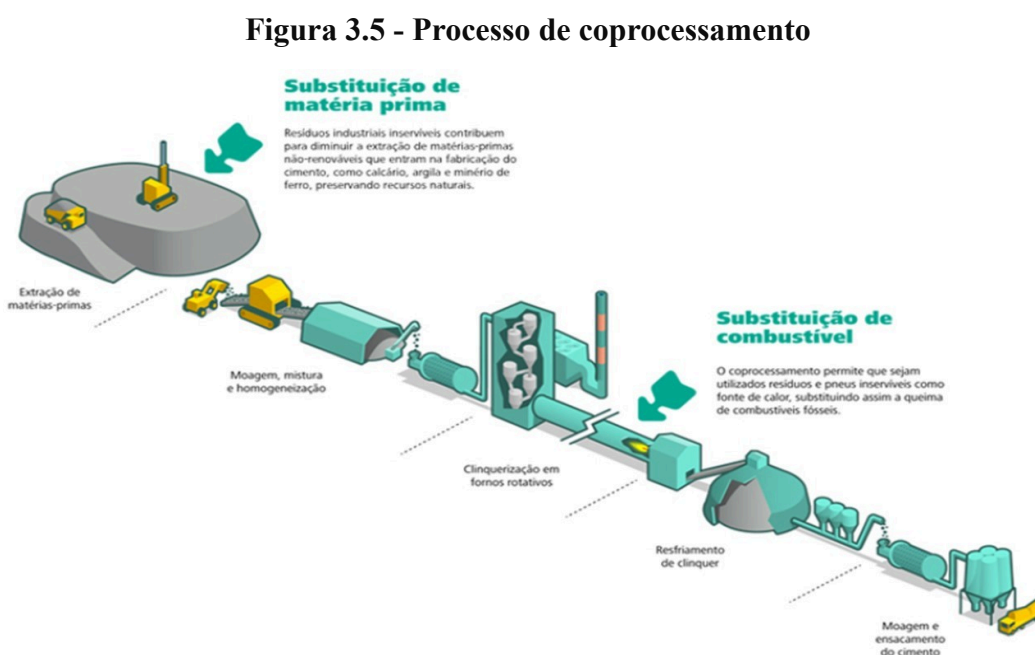
Assim como o método de incineração apresentado anteriormente, o método de coprocessamento é uma oportunidade para a disposição final de resíduos oleosos, os quais são utilizados para substituir combustíveis fósseis ou renováveis e matérias primas não renováveis em uma fase do processo de fabricação de cimento portland (SHEHATA, 2012). A prática do coprocessamento no Brasil é regulamentada pela resolução 264 de 2009 do CONAMA a qual estabelece as aplicabilidades do método para resíduos de matérias substitutas de matérias primas, de combustível, de resíduos inorgânicos para inertização e orgânicos para destruição térmica. Além disso, a resolução determina os tipos de resíduos proibidos neste método, como os de serviços de saúde, explosivos, radioativos, organoclorados, agrotóxicos e afins (CONAMA, 2009).

A indústria cimenteira utiliza do método de coprocessamento na qual os resíduos são utilizados para aquecer os fornos de clínquer, no qual são convertidos basicamente compostos de cálcio, sílica, alumínio e ferro em proporções corretas para a produção do produto final chamado de clínquer, considerado o componente básico do cimento. Esta é considerada a primeira etapa do processo e é realizada em temperaturas de até 1450°C (RITTER, 2007). Visto a necessidade de aquecimento do forno, nem todos os tipos de resíduos podem ser

utilizados no processo, seja pela legislação ou restrições de poder calorífico. (FERRARI, 2014). São exemplos de resíduos muito utilizados: serragens, substâncias oleosas e graxas, pneus, borrachas, resinas, tintas e solventes (SHEHATA, 2012).

O coprocessamento surge como uma solução eficaz para empresas que geram resíduos contaminados com óleos e emulsões, bem como para a indústria cimenteira. Além de ser uma alternativa menos poluente do que os aterros sanitários e mais eficiente do que a incineração em termos de reutilização de energia, oferece diversas vantagens. Entre elas estão a redução do volume de resíduos enviados a aterros, a destruição segura e controlada dos contaminantes, a recuperação energética ao utilizar os resíduos como combustíveis para fornos, a diminuição significativa da massa de resíduos e a integração das cinzas resultantes da combustão ao clínquer (RITTER, 2007).

Os resíduos destinados ao processo de aquecimento do forno têm suas características físico-químicas analisadas e determinadas para possibilitar a criação de misturas entre diferentes resíduos, de modo a atingir o poder calorífico necessário. Essas misturas, denominadas "blends", são adicionadas proporcionalmente ao forno para a produção do clínquer (SHEHATA, 2012). Segundo Ritter (2007) é neste processo que as características perigosas dos resíduos são inertizadas e incorporadas ao clínquer. A Figura 3.5 abaixo representa o processo de coprocessamento, no qual pode-se visualizar o local em que os resíduos são utilizados em substituição aos combustíveis fósseis.



Fonte: Ecoassist (2021)

3.5.3 Separação da emulsão oleosa

As emulsões oleosas, que são misturas de óleo e água com contaminantes, frequentemente contêm sólidos e compostos químicos que podem afetar sua eficácia e segurança quando reutilizadas sem tratamento. Desta maneira, o reuso direto das emulsões oleosas apresenta desafios significativos que justificam a necessidade de métodos adequados de reciclagem. O principal desafio é a presença de contaminantes que podem comprometer o desempenho dos óleos reutilizados e potencialmente causar danos aos equipamentos (FERREIRA et al., 2021). Além disso, a complexidade na separação eficiente dos óleos da fase aquosa e dos sólidos torna o reuso direto difícil e menos seguro, aumentando o risco de falhas operacionais e impactos ambientais (SILVA et al., 2022). Desta maneira, processos que realizam a separação e posterior filtragem dos óleos para reuso são adequados e diminuem consideravelmente o volume de resíduos enviados para incineração ou coprocessamento.

As emulsões oleosas, devido à presença de óleos em sua composição, são classificadas como resíduos perigosos de acordo com a norma ABNT NBR 10.004. Somado-se a periculosidade e as dificuldades para o reuso direto da emulsão, o processo de separação da emulsão oleosa torna-se muito importante. Este processo pode ser dividido em três grandes etapas:

1) Decantação: Para a remoção do óleo livre já separado de forma natural, evitando um maior consumo de produtos químicos na etapa subsequente. Devido à diferença de densidade entre os materiais, o óleo acumula-se na superfície facilitando a sua retirada. Esta etapa é aplicável sempre que a quantidade de óleo livre for significativa.

2) Tratamento Físico-Químico: Para a quebra da emulsão, coagulação e floculação das gotículas de óleo. São utilizados agentes, que pode ser um eletrólito catiônico ou aniônico, composto por sais que atuam deslocando e anulando eletricamente as moléculas de surfactante que estão junto à superfície da gotícula de óleo, liberando assim as moléculas de óleo para se juntarem e formarem a camada de óleo livre.

3) Flotação: Para a separação da fase oleosa floculada da água tratada, adiciona-se à água oleosa uma grande quantidade de bolhas de ar, que aderem às gotículas de óleo de forma estável devido à sua natureza hidrofóbica. Dessa forma, forma-se um sistema óleo-gás com densidade muito inferior à da água, favorecendo o deslocamento rápido desse sistema para a superfície, onde pode ser facilmente removido. O método de flotação é a melhor alternativa para a última etapa, quando comparado aos métodos de hidrociclonagem e centrifugação,

devido ao seu baixo custo, facilidade de operação e alta eficiência na separação da água e do óleo.

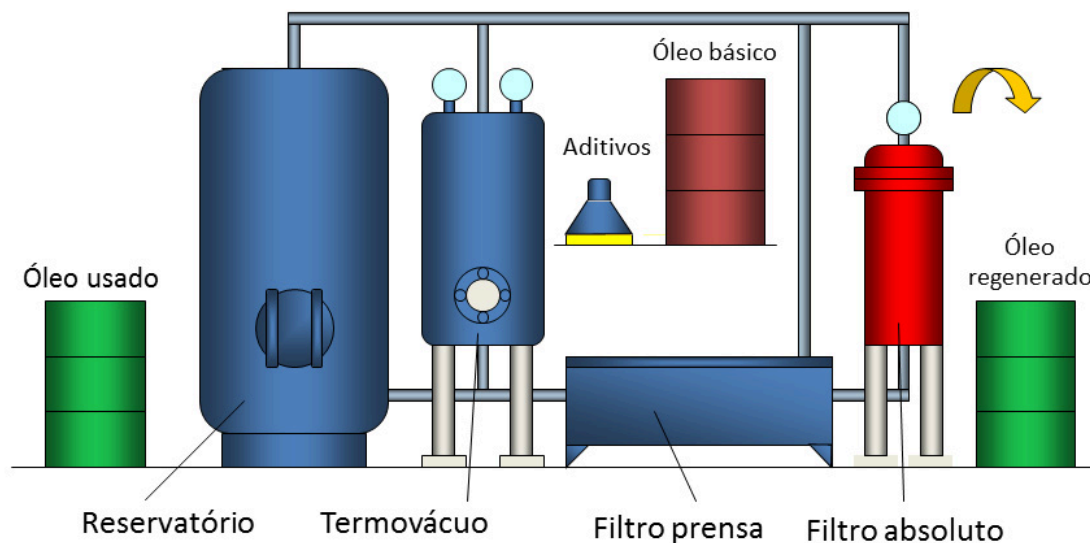
3.5.5 Regeneração de Óleos

Conforme visto anteriormente, o descarte inadequado de óleo é considerado crime, pois ele é classificado como resíduo perigoso de classe I pela ABNT (NBR 10.004:2004), apresentando grande risco ao meio ambiente e à saúde pública. Portanto, a reciclagem de óleos lubrificantes usados é cada vez mais importante no contexto da conservação ambiental. Soma-se a este ponto a necessidade das empresas diminuírem seus custos operacionais, para os quais, segundo Gonçalves (2011) a economia gerada pela utilização de óleos regenerados é de, em média, 40% em relação à compra e descarte do mesmo volume de óleo.

Para a realização da regeneração do óleo lubrificante contaminado após sua utilização, o processo inicia-se com a desidratação e pré-filtragem, nesta etapa, o óleo é depositado em um reservatório primário e, em seguida, bombeado para a câmara de termovácuo. Nesta câmara, o óleo é aquecido e passa por um processo de desidratação para eliminar qualquer água presente. Posteriormente, o óleo é filtrado por um conjunto de filtros primários que retêm os contaminantes mais concentrados. Em seguida é realizada a correção da viscosidade e aditivação do óleo desidratado. Esta é a etapa na qual as propriedades físico-químicas dos óleos lubrificantes são recuperadas tornando-as idênticas à do óleo antes da utilização.

A próxima e última etapa a ser realizada é a filtragem final, pela qual o óleo passa por um filtro absoluto, com capacidade de filtragem inferior a $3\mu\text{m}$, e por um filtro prensa. Esses dois equipamentos são responsáveis por garantir um alto padrão de pureza para os óleos regenerados, fazendo com que atinjam a mesma qualidade de um óleo novo da mesma categoria. A Figura 3.6 abaixo representa o fluxograma do processo de regeneração do óleo lubrificante.

Figura 3.6 - Fluxograma do processo de regeneração de óleo lubrificante



Fonte: Aquecimento Industrial (2021)

O tratamento adequado de resíduos oleosos oferece significativos benefícios econômicos e ambientais. Economicamente, a regeneração e o reaproveitamento de óleos usados reduzem a necessidade de compra de novos óleos, diminuindo os custos operacionais associados à aquisição de produtos novos e ao descarte de resíduos (FERREIRA et al., 2021). Além disso, há redução dos custos de descarte associada a ganhos ambientais, uma vez que menos resíduos precisam ser enviados para aterros incineradores ou coprocessamento. Desta forma, contribui para a promoção de uma gestão mais sustentável, reduzindo a poluição dos solos e das águas (SANTOS et al., 2019).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

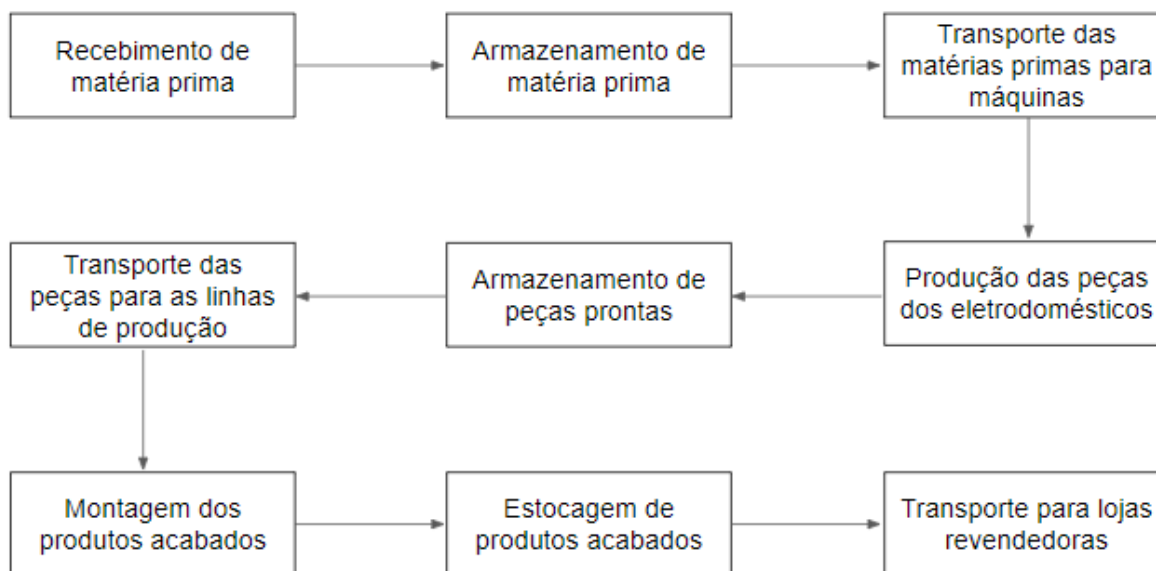
O presente estudo de caso foi conduzido em uma empresa multinacional de eletrodomésticos, na qual é produzida parte considerável da linha branca de eletrodomésticos das marcas comercializadas pela empresa. Na referida planta, são realizadas etapas que

abrangem desde a fabricação de peças até a montagem final e o armazenamento dos produtos acabados.

O processo de produção de eletrodomésticos começa com a entrada de matérias-primas e peças na área fiscal, onde são lançadas as notas fiscais e realizado o registro no controle de estoque. Após a documentação e identificação, os materiais são alocados nos almoxarifados pela equipe logística. Conforme a necessidade de produção, as matérias-primas são transportadas para as máquinas de transformação, onde são convertidas em peças que serão utilizadas na montagem dos produtos finais.

Uma vez transformadas, as peças são armazenadas no almoxarifado até serem transportadas para as linhas de produção, conforme as demandas e necessidades de produção advindas do mercado. As linhas de produção são os locais onde ocorrem as montagens e processo de embalagem dos eletrodomésticos já prontos para serem vendidos e utilizados. Após a montagem, os produtos acabados são movidos para a área de estoque e, finalmente, transportados para as lojas revendedoras. A Figura 4.1 representa em forma de fluxograma o processo apresentado de forma descritiva acima.

Figura 4.1 - Fluxograma dos macroprocessos da indústria

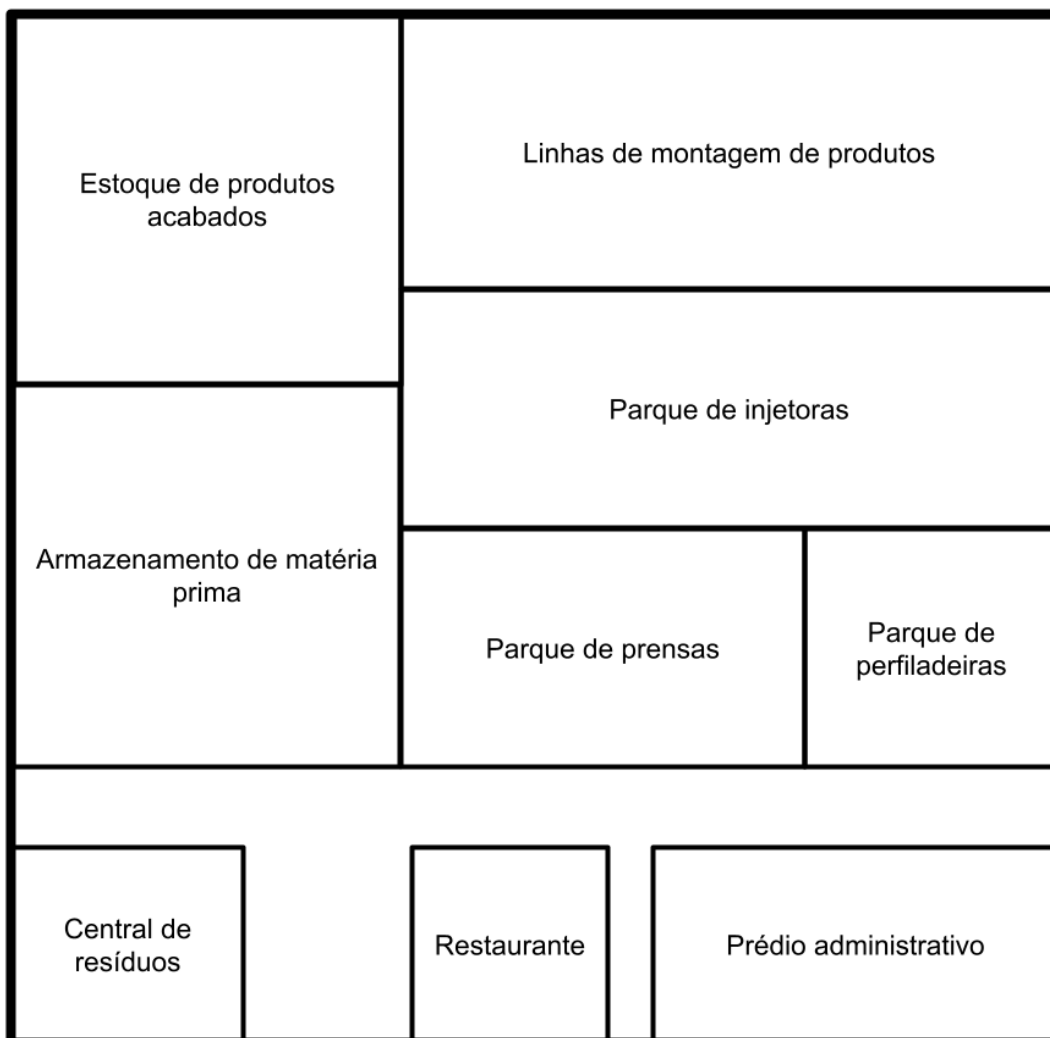


Fonte: Autor (2024)

Conforme ilustrado no fluxograma, a planta industrial é organizada em grandes etapas interdependentes, que se complementam com o objetivo final de produzir eletrodomésticos de

linha branca. Essas interdependências entre os processos também se refletem na disposição física das áreas, que são organizadas para otimizar os fluxos de produção. Para facilitar a compreensão e ampliar a visão do processo produtivo, a Figura 4.2 abaixo apresenta de forma ilustrativa o mapa da planta industrial.

Figura 4.2 - Ilustração da planta industrial



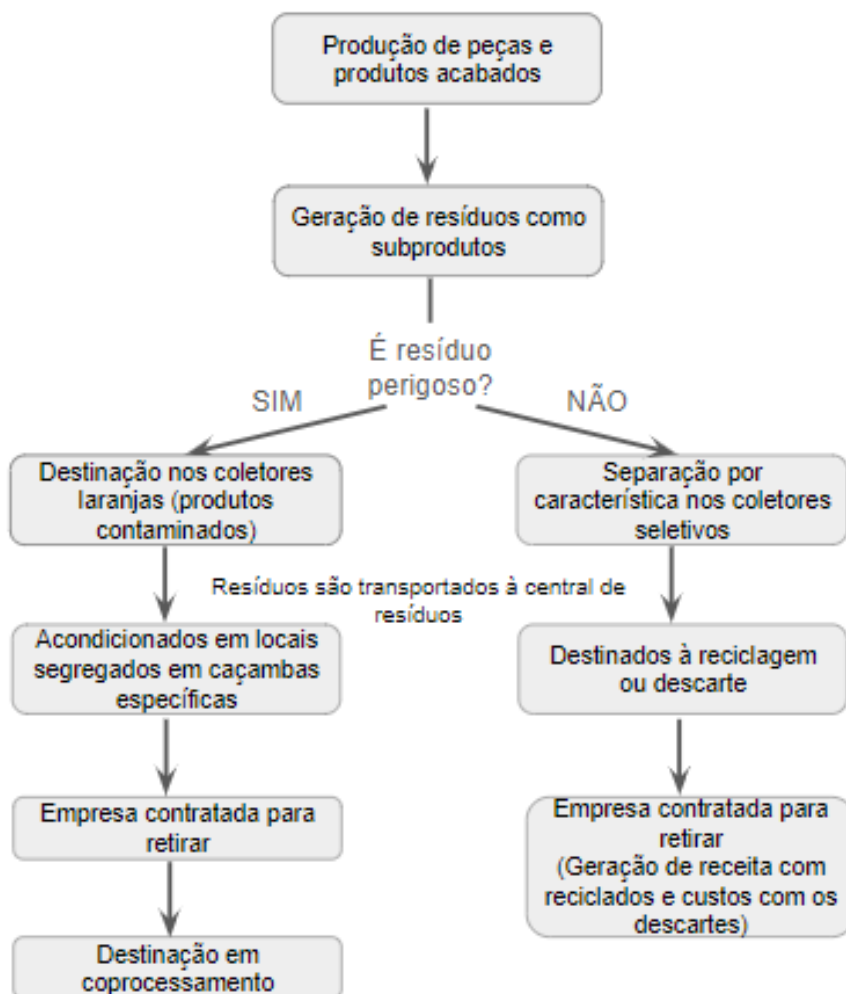
Fonte: Autor (2024)

Além das áreas produtivas apresentadas na Figura 4.1, a Figura 4.2 também ilustra outras importantes instalações da planta industrial. O restaurante, onde os colaboradores realizam suas refeições, proporciona um ambiente adequado para a pausa alimentar. O prédio administrativo concentra as áreas de suporte à manufatura, incluindo setores como engenharia industrial, suprimentos e planejamento de produção.

Devido à ampla diversidade e complexidade de processos produtivos, a empresa gera diversos tipos de resíduos, para isto, a central de resíduos é uma área crucial para a gestão ambiental da fábrica, onde todos os resíduos e refugos do processo produtivo são segregados, armazenados e preparados para a destinação final. Nesta central, os resíduos são categorizados conforme sua natureza e tratados adequadamente para minimizar os impactos ambientais e, posteriormente, encaminhados para empresas especializadas na disposição final, reciclagem ou tratamento conforme a legislação vigente.

O estudo de caso em questão concentra-se na gestão dos resíduos perigosos da empresa, na qual atualmente há um fluxo definido para a coleta e destinação final destes resíduos. A Figura 9 abaixo apresenta o fluxograma das etapas de coleta dos resíduos perigosos, elaborado a partir das observações feitas durante a visita técnica realizada em conjunto com a engenheira responsável pela gestão dos resíduos sólidos na indústria. Na Figura 4.3 é possível visualizar desde a produção de peças e produtos acabados, a separação entre resíduos perigosos e não perigosos e os métodos atuais de armazenamento e destinação final para os resíduos Classe I e Classe II.

Figura 4.3 - Fluxogramas da coleta de resíduos perigosos



Fonte: Autor (2024)

4.2 Avaliação e mapeamento dos resíduos perigosos e sua gestão atual

Para avaliar a gestão atual dos resíduos perigosos na empresa, este estudo de caso iniciou com a coleta e análise de dados dos seis primeiros meses do ano de 2024 para quantificar e mapear a geração de resíduos perigosos, consultando as bases de dados internas geradas pela área responsável pela central de resíduos da empresa. Após quantificar a porcentagem de resíduos perigosos dentre os resíduos da empresa, quantificou-se também os tipos de resíduos perigosos gerados na planta industrial. Em seguida, foram realizadas entrevistas com os responsáveis pela área da central de resíduos e visitas técnicas para identificação das principais áreas geradoras e finalização do mapeamento dos resíduos.

Com o intuito de analisar e avaliar a eficácia na gestão de resíduos perigosos da empresa, utilizou-se da metodologia conforme a PNRS, que inclui a análise da existência e cumprimento do Plano de Gestão de Resíduos Sólidos, da realização de inventários, da segregação e rotulagem corretas, do armazenamento adequado, e da destinação final adequada de acordo com as normas e legislações ambientais. Para estas últimas foram verificadas as atualizações dos documentos e o cumprimento das normas vigentes, a fim de garantir a preservação do meio ambiente e evitar penalidades à empresa decorrentes do descumprimento das regulamentações.

4.3 Identificação de pontos críticos e oportunidades na geração de resíduos perigosos

Com objetivo de identificar pontos críticos e oportunidades para a redução da geração de resíduos perigosos, as principais áreas geradoras desses resíduos foram identificadas através dos bancos de dados. Em seguida, foram realizadas duas visitas técnicas às áreas de produção para observar diretamente as práticas que levam à geração de resíduos. Durante as visitas acompanhou-se todo o fluxo dos resíduos, desde a sua geração até a destinação final.

Durante essas visitas, realizou-se observações detalhadas das práticas de gestão de resíduos, permitindo uma análise criteriosa de como os resíduos são gerados, manuseados, armazenados e transportados. Além disso, conduziu-se entrevistas com colaboradores das áreas envolvidas e empresas terceiras para entender as dificuldades enfrentadas, as práticas atuais de segregação e oportunidades de acordo com os 5R's. Também foram analisadas junto aos líderes técnicos das áreas o processo operacional a fim de encontrar falhas operacionais ou de manutenção que possam contribuir para o aumento da geração de resíduos.

Para analisar os resíduos sólidos contaminados, dada a ausência de dados específicos sobre seus componentes, foram realizadas quatro visitas quinzenais à central de resíduos. O objetivo dessas visitas foi coletar informações e realizar uma amostragem estimada para identificar os principais sólidos presentes nesse grupo de resíduos da empresa. Além disso, foram conduzidas conversas com os funcionários da área para explorar oportunidades e melhorias na gestão desses resíduos

4.4 Exploração de Práticas para Aumento da Eficiência da Gestão de Resíduos

Com o propósito de promover práticas sustentáveis para melhorar a gestão dos resíduos perigosos da empresa foram investigados métodos na literatura baseados no método

de priorização da PNRS. Este método segue a ordem de não geração, redução, reutilização, reciclagem e, por fim, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Dessa forma, buscou-se por meio de ações nas fontes geradoras substituir os componentes perigosos utilizados, minimizar a quantidade de resíduos perigosos gerados e, para os quais a redução não é possível, maximizar o reaproveitamento aplicando princípios da economia circular e utilizando métodos mais sustentáveis para a destinação final.

Para a minimização dos resíduos, foi realizada uma análise detalhada com o time técnico da empresa para avaliar a viabilidade de implementar diversas estratégias de manutenção nas máquinas. Entre os métodos considerados, destacaram-se a manutenção corretiva, que visa resolver problemas conforme eles surgem, e a manutenção preventiva, que tem como objetivo antecipar próximas falhas e evitar a ocorrência de problemas que afetem a geração de resíduos.

Com foco em aumentar a eficiência na gestão dos resíduos, foi realizada uma avaliação detalhada da substituição de óleos minerais por óleos biodegradáveis. Essa análise incluiu a revisão da Ficha de Informação de Segurança para Produtos Químicos (FISPQ) para compreender os componentes dos óleos e seus impactos ambientais. Além disso, foram consultados os engenheiros especialistas da empresa para determinar a viabilidade dessa alteração. A substituição foi avaliada em termos de eficácia operacional, impacto ambiental reduzido e viabilidade econômica da alteração do óleo utilizado.

Também realizou-se um ensaio laboratorial para identificar diferentes amostras da emulsão oleosa gerada na planta industrial com objetivo de identificar possíveis oportunidades no tratamento deste resíduo. Para este experimento, esperou-se a decantação da emulsão oleosa por uma semana, seguida pela análise das amostras da camada inferior da emulsão de água e óleo. O relatório laboratorial classificou o resíduo de acordo com as normas da ABNT NBR 10.004 e analisou a composição mássica da mistura óleo e água. Após determinar a nova classificação, foram propostas alternativas para a separação e destinação destes resíduos. Ao final, visando maior sustentabilidade e redução de custos operacionais foram avaliadas as viabilidades e prazos de implantação da proposta.

Finalmente, durante as visitas à central de resíduos, as caçambas foram inspecionadas para identificar os principais tipos de resíduos sólidos. Em seguida, foram avaliadas, com base em entrevistas com a empresa responsável pelo tratamento dos resíduos, práticas de economia circular e reutilização. Isso incluiu a lavagem de toalhas industriais para reuso e o encaminhamento de galões plásticos para a produção de tijolos ecológicos. As viabilidades técnica e econômica e prazos para implementação dessas práticas sustentáveis foram

analisadas para determinar sua possível realização na empresa.

Com relação à lavagem e reutilização de toalhas industriais realizou-se uma análise com uma empresa terceirizada para avaliar os ganhos e custos associados à reutilização de toalhas industriais. O estudo incluiu a revisão do método de lavagem, que é composto por etapas que serão detalhadas mais adiante. A análise dos ganhos foi baseada na média de compras dos últimos meses, no custo unitário das toalhas e no peso médio de cada uma. Com essas informações, foi possível calcular a redução na necessidade de compra de novas toalhas e a diminuição dos resíduos enviados para o coprocessamento, multiplicando a quantidade reduzida pelo peso médio das toalhas.

Já para a reutilização dos galões plásticos estudou-se com base na literatura o método pelo qual os galões contaminados de resíduos perigosos são reutilizados para a produção de tijolos ecológicos, reduzindo assim a quantidade de materiais enviados para o coprocessamento. Para este caso também foi analisada a redução do custo a partir da multiplicação da redução de volume pelo quilograma do material enviado à destinação final escolhida atualmente pela empresa.

4.5 Análise econômica e de eficiência das soluções propostas anteriormente para gestão de resíduos

Através dos dados coletados dos inventários de resíduos, foi possível estabelecer um indicador de desempenho da gestão, medindo-se a quantidade de resíduos destinados ao tratamento final em quilogramas por unidades de produtos produzidos na planta. Desta maneira pode-se compará-lo, após a determinação das soluções sustentáveis propostas para a empresa, como indicativo do aumento da eficiência nos métodos de gestão de resíduos perigosos da empresa.

Para realizar uma análise econômica, inicialmente foram determinados os custos por quilograma de resíduo perigoso enviado para co-processamento, com base em entrevistas com os funcionários responsáveis pela área de meio ambiente e na análise das planilhas orçamentárias da empresa. Em seguida, após as análises técnicas das propostas de práticas sustentáveis identificadas no estudo de caso, foi feita uma estimativa da redução dos resíduos enviados para coprocessamento, calculada em toneladas. Essa estimativa baseou-se no controle de estoque dos primeiros seis meses de 2024, permitindo determinar mensalmente o consumo e o descarte das peças. Com esses dados, foi realizada uma nova análise econômica, comparando os custos reais dos seis primeiros meses do ano com os custos estimados para o

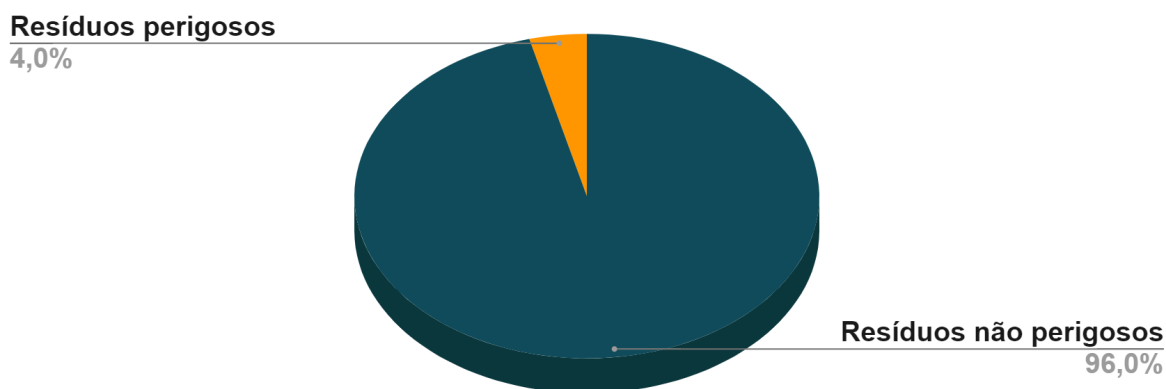
mesmo período, assumindo a implementação das soluções sustentáveis propostas. Para a realização dos cálculos dos custos financeiros foi realizada a multiplicação do custo do quilograma do resíduo enviado a co-processamento e o volume de resíduo enviado ao coprocessamento. A comparação de antes e depois da possível implementação permitiu avaliar a redução de custos e o aumento da eficiência alcançados com a adoção das novas práticas de gestão de resíduos perigosos na planta industrial.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapeamento dos resíduos e do atual processo de gestão

Neste estudo de caso, com o objetivo de analisar os resíduos perigosos gerados pela empresa, foi realizada uma visita à central de resíduos e consultas aos bancos de dados da empresa. Essa abordagem permitiu determinar, conforme ilustrado na Figura 5.1 abaixo, as porcentagens de resíduos perigosos e não perigosos gerados na planta em questão durante o primeiro semestre do ano de 2024. Para a determinação dos resíduos perigosos e não perigosos classificados na Figura 11 respeitou-se as classificações de acordo com as normas da ABNT NBR 10.004.

Figura 5.1 - Comparação da produção de resíduos perigosos e não perigosos



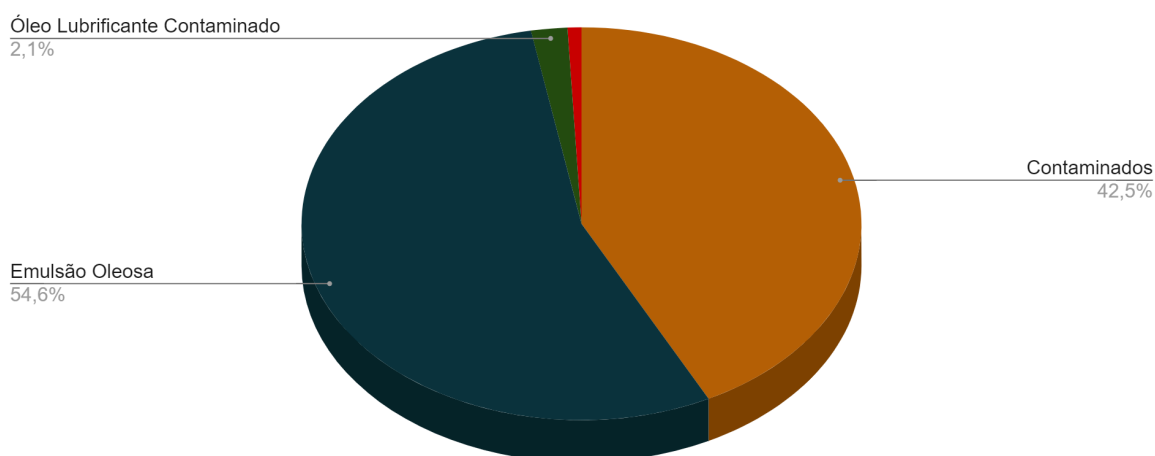
Fonte: Autor (2024)

Os resíduos não perigosos, que representam 96% do total gerado na planta industrial, são compostos principalmente de metais, plásticos e vidros. Esses materiais são direcionados

para reciclagem, possibilitando sua reutilização em novos ciclos produtivos, o que reflete a eficácia e realização de práticas ambientalmente corretas e sustentáveis com os resíduos não perigosos.

Para o estudo em questão focou-se nos 4% de resíduos perigosos, classificados como Classe I, gerados pela planta industrial, os quais representam cerca de 100 toneladas no primeiro semestre deste ano. Desta maneira, assim como para determinação da Figura 5.1, com a análise dos dados fornecidos pela empresa foi possível determinar quais os resíduos perigosos e também mensurar suas porcentagens do total, como é apresentado na Figura 5.2.

Figura 5.2 - Resíduos perigosos gerados na empresa



Fonte: Autor (2024)

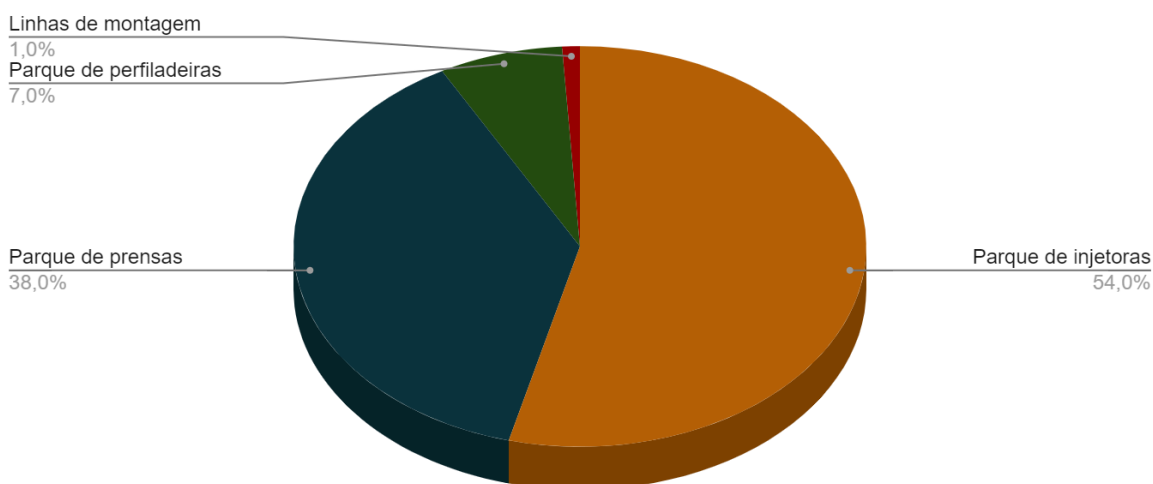
A Figura 5.2 ilustra os três principais tipos de resíduos contaminados, classificados em ordem decrescente de percentual do total: emulsão oleosa, resíduos contaminados e óleos lubrificantes contaminados. As emulsões são misturas de água e óleo, enquanto os resíduos contaminados referem-se a resíduos sólidos classificados como Classe I e que foram destinados como perigosos nas caçambas de coleta seletiva. Os óleos lubrificantes contaminados são aqueles removidos das máquinas após o término de sua vida útil.

A partir das informações obtidas, foi possível delimitar o perímetro do estudo, focando-se nos três principais tipos de resíduos: emulsão oleosa, resíduos contaminados e óleos lubrificantes contaminados, que juntos representam aproximadamente 99% do total de

resíduos perigosos gerados (Figura 5.2). Com o perímetro estabelecido, foi conduzido um estudo detalhado do processo produtivo para identificar e mapear a geração desses resíduos. Este estudo permitiu estabelecer quais macroáreas, (Figura 4.2), são as principais responsáveis pela formação dos resíduos. Os resultados desse mapeamento estão representados na Figura 5.3 abaixo. Pela qual nota-se que os maiores ofensores são as áreas que fabricantes de peças, sendo elas, o parque de injetoras no qual são produzidas peças plásticas e o parque de prensas no qual são estampadas peças metálicas.

Assim como realizado anteriormente, foi delimitado o perímetro de estudo para as duas principais áreas geradoras (Parque de injetoras e Prensas) de resíduos, que somadas geram mais de 90% dos resíduos perigosos da empresa, são elas o parque de injetoras e o parque de prensas.

Figura 5.3 - Áreas responsáveis pela geração de resíduos perigoso



Fonte: Autor (2024)

Para analisar a eficácia na gestão de resíduos perigosos da empresa, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos, verificou-se nos documentos da empresa a existência e atualização do PGRS, para a qual foi encontrado o plano de gerenciamento proposto no ano de 2020 com última revisão realizada em Maio/2024 e validade até Maio/2025. A Tabela 5.1 abaixo é uma adaptação do controle de revisões realizadas no PGRS da empresa.

Tabela 5.1 - Controle de revisões PGRS

N°	Data	Motivo	Responsável	Aprovação
1	novembro 2020	Emissão documento	Engenheiro A	Responsável A
2	junho 2021	Revisão geral	Engenheiro A	Responsável A
3	maio 2022	Revisão geral	Engenheiro B	Responsável B
4	maio 2023	Revisão geral	Engenheiro C	Responsável B
5	maio 2024	Revisão geral	Engenheiro C	Responsável C

Fonte: Adaptado de PGRS da empresa

De acordo com informações presentes no PGRS, são realizadas auditorias internas semestrais e auditorias externas anuais para garantir a conformidade com as normas e legislações vigentes. O PGRS também explicita a existência de um sistema de consultas em uma plataforma online, que permite acesso aos requisitos legais necessários para a gestão de resíduos, facilitando o acesso à informação por parte da equipe responsável por gerenciar os pontos necessários de conformidade às normas ambientais. A Tabela 5.2 abaixo apresenta alguns dos requisitos legais mencionados no documento, especificamente relacionados à gestão de resíduos perigosos, suas respectivas normas e conformidade de acordo com a última auditoria realizada pelo time responsável.

Tabela 5.2 - Requisitos apresentados na plataforma online da empresa

Numéro	Requisitos	Norma	Conformidade
1	O estabelecimento não incorpora resíduos industriais perigosos em qualquer material ou produto para diluição de produtos perigosos.	PNRS (Lei 12.300)	OK
2	Se o empreendimento tiver óleo usado no local, ele é reciclado em outro local através de re-refinamento, ou é recuperado, por uma operação que tenha sido aprovada pelas autoridades responsáveis por assuntos ambientais.	CONAMA 362	OK
3	Se o empreendimento gera resíduos industriais perigosos, ele envia um relatório anual à Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA).	PNRS (Lei 12.300)	OK
4	Se a empresa gera óleos usados, ela está em conformidade com os requisitos estabelecidos na Resolução CONAMA no 362/2005, a saber, armazenar óleo em local seguro e oferecer a seus coletores informações sobre potenciais contaminantes em óleos usados.	CONAMA 362	OK
5	Se a empresa tiver usado óleo no local, ela não deverá lançar o óleo no solo, em cursos de água superficiais, subterrâneos, no mar ou em sistemas de drenagem.	CONAMA 362	OK
6	Se a instalação exerce alguma atividade perigosa listada no Anexo I da Instrução Normativa IBAMA 1, de 25 de janeiro de 2013, e gera resíduos perigosos, ela se registrou no Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos (CNORP).	PNRS (Lei 12.300)	OK
7	Se o estabelecimento gera ou opera com resíduos perigosos, seus operadores informam as autoridades competentes no caso de um acidente ou incidente envolvendo resíduos perigosos.	PNRS (Lei 12.305)	OK
8	Se o estabelecimento gera ou opera com resíduos perigosos, ele mantém registros atualizados sobre a implementação do plano de gerenciamento de resíduos perigosos no local.	PNRS (Lei 12.305)	OK
9	Se o estabelecimento gera resíduos industriais perigosos, ele tem uma licença de operação (LO) válida.	PNRS (Lei 12.300)	OK
10	Se a instalação gera resíduos perigosos com características de inflamabilidade, deverá destiná-los à recuperação energética em instalações licenciadas para a atividade, localizadas a até 150 quilômetros da fonte de geração dos resíduos.	PNRS (Lei 12.305)	OK

Fonte: Adaptado de Gensuite

Para validar a eficácia da gestão atual de resíduos, foi realizado um estudo dos tópicos mencionados no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Este estudo incluiu a análise detalhada do processo de gerenciamento, as ações corretivas implementadas, as medidas de controle em vigor e, finalmente, as ações de melhoria contínua adotadas pela empresa. Cada um desses aspectos foi resumido na Tabela 5.3 abaixo.

Tabela 5.3 - Resumo do PGRS da empresa

Tópico	Resumo
Segregação	A segregação e o acondicionamento dos resíduos são definidos considerando sua classe, a fonte geradora e a quantidade gerada
Transporte interno	Para os resíduos classe 1 é necessária a utilização de contenedores específicos e cuidados durante o transporte até a Área da Central de Resíduos
Armazenamento	A estocagem temporária é feita na Central de Resíduos obedecendo as medidas de segurança e proteções ambientais necessárias e específicas para cada tipo de resíduos, sendo todo o pátio impermeabilizado.
Destinação Final	Contrata-se empresas homologadas para realização do transporte externo e destinação final em fornecedores também homologados de acordo com o tipo de resíduo
Ações corretivas	Em caso de ocorrências de gerenciamento inadequado ou acidentes, estão definidas no Plano de Ação Emergencia com as equipes de bombeiro especializadas
Ações preventivas e de controle	Auditorias internas semestrais e externas anuais para reforço e melhoria do sistema de gestão de resíduos
Ações melhoria contínua	Ações de redução com base na política e hierarquia dos 5Rs e controle de indicadores para redução da destinação final em incineração e coprocessamento
Logística reversa	Empresa contratada para gerir o sistema de logística reversa, focada em cumprir as normas todas normas vigentes sobre o tema

Fonte: Adaptado de PGRS da empresa

Para validar a eficácia dos tópicos presentes no PGRS da empresa, iniciou-se a análise pela segregação dos resíduos. Durante as visitas técnicas ao ambiente fabril, foram identificados diversos coletores seletivos. No entanto, foram observadas oportunidades de melhoria na segregação, com resíduos sendo destinados a locais inadequados. Além disso, notou-se a necessidade de detalhamento mais preciso nas informações sobre os resíduos sólidos contaminados gerados.

Em relação ao transporte interno e armazenamento, todas as normas estão sendo seguidas e as práticas estão em conformidade para assegurar a proteção dos colaboradores e do meio ambiente. A análise da destinação dos resíduos revelou que ela está sendo realizada por uma empresa homologada e que a separação é feita de acordo com a classificação dos resíduos.

Para as ações preventivas e de controle, o calendário de auditorias internas e externas

está sendo cumprido, evidenciando o compromisso da empresa com a gestão de resíduos. Em termos de ações corretivas, equipes de bombeiros especializadas estão disponíveis em tempo integral.

Por fim, quanto às ações de melhoria contínua e logística reversa, existem oportunidades para expandir o número de projetos e práticas sustentáveis, visando a redução da destinação de resíduos a coprocessamento. Isso contribui para a viabilidade e aprimoramento deste estudo de caso.

5.2 Pontos críticos e oportunidades na gestão de resíduos perigosos

5.2.1 Emulsão oleosa

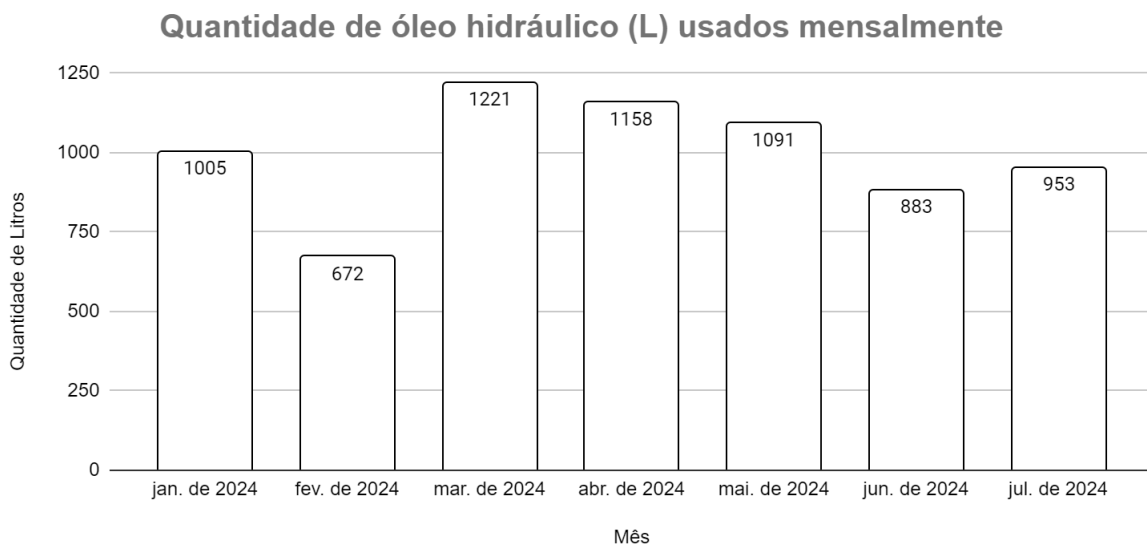
Com os resíduos perigosos (Figura 5.1) e as áreas geradoras de resíduos perigosos (Figura 5.2) já identificados e delimitados para o estudo, realizou-se visitas detalhadas aos parques das injetoras e das prensas com objetivo de encontrar oportunidades em todo o fluxo de geração de resíduos, desde o momento em que são gerados até a sua destinação final. Durante as visitas, foram identificados pontos críticos e oportunidades de melhoria, como vazamentos e falhas nos processos de segregação dos resíduos gerados, os quais serão explorados em seguida.

A emulsão oleosa é o componente que representa 54,6% dos resíduos perigosos gerados durante o período analisado (Figura 5.2). Esta mistura de água e óleo é formada principalmente quando os óleos hidráulicos vazam dos sistemas fechados das máquinas e se misturam com água e impurezas no ambiente de trabalho. Durante as visitas técnicas, observou-se junto aos líderes técnicos das máquinas, diversos vários pontos de vazamento de óleo. Visto que há reutilização desse óleo impuro nas máquinas, os frequentes vazamentos acabam resultando na geração constante de emulsão oleosa como resíduo perigoso. Estes diversos e constantes vazamentos tornam-se uma grande oportunidade de melhoria na gestão de resíduos, visto que aumentam tanto a necessidade de reposição de óleo quanto o volume de geração de resíduos perigosos.

Em colaboração com a equipe de manutenção e lubrificação da empresa, foi possível entender que o grande volume de óleo utilizado nas máquinas (Figura 5.4), não seria necessário se elas estivessem em perfeitas condições de funcionamento. Conforme as entrevistas com os responsáveis técnicos, em condições ideais de funcionamento, como temperatura adequada e componentes sem desgaste por sobreutilização, não deveria haver a

necessidade de troca ou reposição de óleo hidráulico nas máquinas. Isso indica que todo o óleo hidráulico adicionado está diretamente relacionado a problemas de vazamento causados pela falta de manutenção adequada. A Figura 5.4 abaixo ilustra a quantidade de óleo hidráulico utilizada mensalmente no ano de 2024 devido aos vazamentos nas máquinas. Nota-se na Figura 5.4 um volume médio mensal de aproximadamente mil litros de óleo, os quais, em condições ideais das máquinas deveriam ser próximos a zero. Este alto volume de óleo destaca a oportunidade de redução de custos e minimização da geração de resíduos perigosos com práticas de manutenção que diminuam a quantidade desperdiçada de óleo.

Figura 5.4 - Quantidade de óleo utilizado nas injetoras devido a problemas de manutenção (Litros)



Fonte: Autor (2024)

Além do elevado consumo de óleo e da alta produção de emulsão oleosa, os vazamentos nas máquinas contribuem significativamente para o aumento da quantidade de resíduos sólidos contaminados. Isso ocorre porque, para conter e limpar esses vazamentos, são utilizadas maiores quantidades de galões plásticos, toalhas industriais, plásticos e papelões. Esses materiais são empregados para absorver e limpar os vazamentos acumulados no chão impermeável. Assim, surge uma oportunidade para a gestão e redução dos resíduos sólidos contaminados gerados nesse processo.

5.2.2 Resíduos sólidos contaminados

Os resíduos sólidos contaminados representam 42,5% (Figura 5.2) dos resíduos gerados no ambiente fabril, constituindo um ponto crítico com potencial significativo para melhorias na gestão. Como todos os resíduos sólidos contaminados são enviados para coprocessamento sem separação e dados detalhados sobre seus componentes, tornou-se necessário realizar visitas técnicas à central de resíduos para identificar e analisar esses materiais. Durante as visitas, foram coletadas amostras para estimar a composição dos resíduos nas caçambas destinadas a esses resíduos. Os resultados dessas análises estão detalhados na Tabela 5.4 abaixo.

Tabela 5.4 - Principais resíduos contaminados

1. Embalagens plásticas	4. Tambores metálicos
2. Toalhas industriais	5. Papelão
3. Plásticos	6. Outros

Fonte: Autor

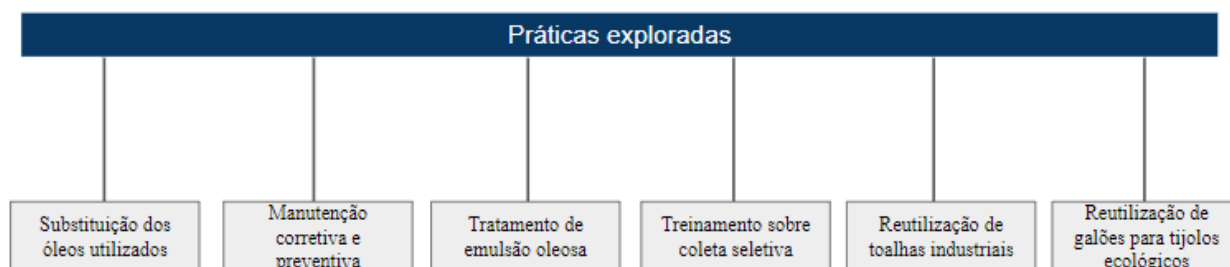
Durante estas análises, as entrevistas realizadas com os colaboradores da central de resíduos revelaram que uma grande quantidade de resíduos estava sendo erroneamente descartada nas caçambas destinadas a resíduos perigosos, principalmente papelões, plásticos e papéis. Essa indicação do colaborador destacou a oportunidade de aumento de eficiência das coletas seletivas e conseqüente redução da quantidade de resíduos contaminados.

Além dos resíduos que são descartados incorretamente, há também uma quantidade significativa de resíduos que são descartados de forma correta, mas que ainda apresentam grandes oportunidades de melhoria na gestão. Atualmente, o tratamento desses resíduos consiste exclusivamente no coprocessamento, que, embora seja uma solução viável, não explora todo o potencial de reaproveitamento dos materiais. Há, portanto, oportunidades significativas para a implementação de práticas de economia circular, que permitiriam a reutilização e revalorização de parte desses materiais. Ao adotar essas práticas, não só será possível diminuir o volume de resíduos enviados para coprocessamento, mas também reduzir os impactos ambientais e gerar valor econômico para a empresa. Essas oportunidades serão detalhadas no tópico abaixo.

5.3 Práticas que visam aumento de eficiência da gestão de resíduos

Diante dos pontos críticos mencionados anteriormente, como o elevado volume de emulsão oleosa devido a vazamentos nas máquinas e a grande quantidade de resíduos sólidos contaminados gerados pela empresa, serão exploradas práticas sustentáveis para mitigar esses problemas. Para o volume elevado de emulsão oleosa, serão analisadas a substituição dos óleos utilizados, a implementação de manutenção preventiva e corretiva nas máquinas, e o tratamento da emulsão. Quanto aos resíduos sólidos segregados inadequadamente, serão promovidos treinamentos e capacitações para os colaboradores. Por fim, no que se refere aos resíduos sólidos contaminados, serão investigadas práticas de reutilização, incluindo a lavagem de toalhas industriais e a reutilização de galões plásticos para a produção de tijolos ecológicos. A Figura 5.5 abaixo apresenta um fluxograma com o resumo de todas as práticas estudadas a fim de uma maior eficiência na gestão dos resíduos da empresa.

Figura 5.5: Práticas que visam o aumento da eficiência do gerenciamento de resíduos perigosos



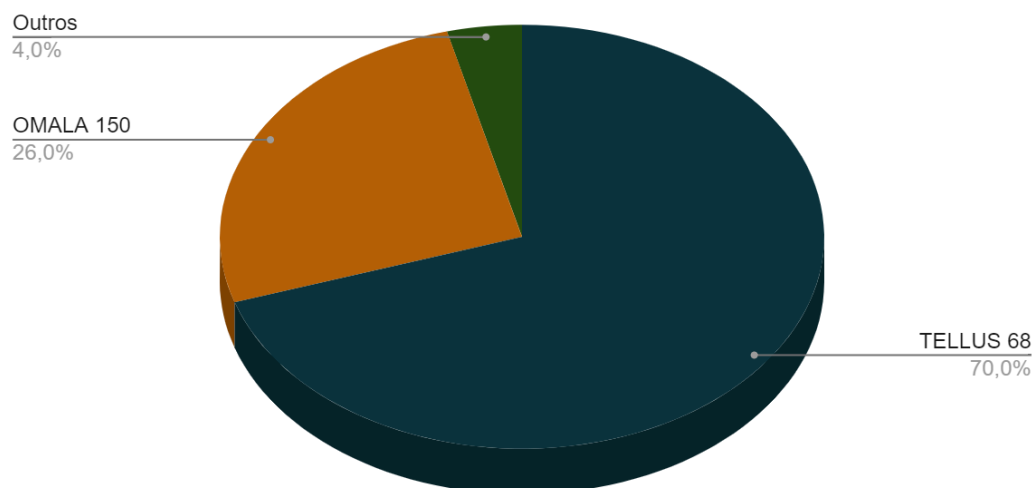
Fonte: Autor

5.3.1 Substituição dos óleos utilizados

Dada a importância de minimizar os impactos ambientais e seguindo a ordem de prioridade estabelecida pela PNRS, que inclui não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, o estudo focou-se inicialmente em maneiras de minimizar a geração do principal resíduo perigoso gerado na empresa, a emulsão oleosa. Para isso, identificou-se quais óleos são os mais utilizados a partir de dados dos bancos de estoque e consumo de materiais de processo (Figura 5.6). Com estes dados, avaliou-se os impactos e riscos ambientais destes óleos por meio da Ficha de

Informações de Segurança do Produto Químico (FISPQ) e buscou-se explorar opções mais sustentáveis para a substituição.

Figura 5.6 - Principais óleos utilizados na indústria



Fonte: Autor (2024)

De acordo com a Figura 5.6 os principais óleos utilizados na indústria são o Tellus 68 e o Omala 150, representando 96% do total de óleos. Como visto anteriormente, as emulsões oleosas são resultados dos vazamentos e reutilização destes óleos nas máquinas. Desta maneira, há grande oportunidade na análise e substituição destes óleos por óleos considerados sustentáveis.

Conforme especificado na FISPQ, o Tellus 68 é classificado como um óleo mineral hidráulico com baixa taxa de biodegradabilidade e potencial de bioacumulação, o que pode resultar na degradação de ambientes aquáticos e solos. Por outro lado, o OMALA 150, também amplamente utilizado na planta, é um lubrificante que também se baseia em óleo mineral, compartilhando impactos ambientais similares ao Tellus 68. Diante disso, visando mitigar a geração de resíduos perigosos, consultou-se especialistas em máquinas de injeção, estamparia e lubrificação da empresa para identificar possíveis óleos biodegradáveis que possam substituir esses produtos.

Óleos hidráulicos são os óleos responsáveis pelas movimentações mecânicas realizadas pelas máquinas, os óleos hidráulicos biodegradáveis são uma alternativa mais sustentável aos óleos minerais tradicionais. Eles são formulados para se decompor naturalmente quando liberados no ambiente, permitindo às indústrias alcançarem grandes reduções nos impactos ambientais (Castro, 2019). Entretanto, dois fatores principais são citados com relação a estes óleos quando comparados aos óleos minerais: o ciclo de vida pode ser menor, necessitando de trocas mais frequentes, além dos custos de aquisição destes serem maiores. Outro fator que soma-se à dificuldade dessa substituição está nos custos para esta troca, visto que, segundo informações dos técnicos das injetoras, para cada máquina seria necessário em média, 1500 litros de óleo.

Para efeito comparativo buscou-se no mercado os valores de dois tipos principais de óleos hidráulicos biodegradáveis, na Tabela 5.5 abaixo estão compilados o valor do litro de óleo do Tellus 68, utilizado atualmente na indústria, e dos óleos Naturelle HF-E e HLP Synth. Ao realizar a comparação do valor (R\$/L) apresentado na Tabela 5.5 observa-se uma grande variação do custo do óleo mineral e dos óleos biodegradáveis, com aumentos de 100% e 75% respectivamente. Desta maneira, concluindo-se que apesar dos ganhos ambientais, a duplicação dos custos operacionais e os baixos retornos financeiros associados a destinação final dos resíduos oleosos inviabilizam a realização da troca do óleo.

Tabela 5.5 - Custo de óleos hidráulicos biodegradáveis em comparação ao óleo mineral

Óleo	Tipo	Valor (R\$/L)
Tellus 68	Mineral	R\$ 20
Naturelle HF-E	Biodegradável	R\$ 40
HLP Synth	Biodegradável	R\$ 35

Fonte: Revendedoras

No que tange aos óleos lubrificantes, eles desempenham um papel fundamental na redução do atrito e desgaste de máquinas e equipamentos. Sendo imprescindíveis e essenciais para manter a operacionalidade e prevenir falhas precoces nos sistemas mecânicos (Silva Filho, 2020). Devido à inevitável necessidade de utilização, neste estudo, analisou-se a possibilidade de substituir o óleo lubrificante mineral OMALA 150 por alternativas biodegradáveis. Apesar dos benefícios ambientais associados aos óleos biodegradáveis, como menor impacto ecológico e maior conformidade com regulamentações ambientais, eles

apresentam desvantagens técnicas significativas. As principais limitações incluem menor estabilidade térmica, propensão à oxidação acelerada, durabilidade reduzida, e custos mais elevados por litro consumido (Hamnas, 2023). Essas desvantagens tornam a substituição inviável, pois implicam em aumento substancial dos custos operacionais associada às limitações técnicas de durabilidade e estabilidade térmica.

5.3.2 Manutenção corretiva e preventiva

Devido à inviabilidade financeira e técnica da utilização de óleos biodegradáveis, e seguindo a priorização da PNRS, foi estudada a possibilidade de reduzir a geração de resíduos perigosos. Como discutido anteriormente, o parque de injetoras e o parque de prensas utilizam quantidades de óleo muito superiores à necessidade técnica das máquinas em condições ideais de funcionamento. Após consultas com as equipes técnicas e os responsáveis pela manutenção da empresa, foi identificado que a principal medida para reduzir a geração desses resíduos é a implementação de manutenções corretivas, visando corrigir os atuais vazamentos, e a adequação dos calendários de manutenções preventivas para evitar futuros problemas.

No entanto, as máquinas de ambos os parques já estão depreciadas e têm sido usadas por muitos anos. Por isso, o investimento necessário para corrigir todos os vazamentos existentes e realizar as manutenções preventivas futuras é extremamente alto, o que torna a correção completa de todas as máquinas economicamente inviável. Essa situação também limita significativamente a capacidade de reduzir a geração de resíduos perigosos. Apesar disso, as ações de manutenção corretiva e preventiva, quando aplicadas a máquinas que passaram por um processo de restauração para restaurar suas condições de operação ideais, podem potencialmente reduzir em média 80% da quantidade de resíduos perigosos gerados nessas áreas devido ao uso de óleos hidráulicos. Assim, ainda que a solução completa não seja viável, focar na correção dos vazamentos mais críticos e na manutenção regular pode contribuir significativamente para a melhoria da gestão de resíduos e a diminuição dos impactos ambientais.

Considerando o significativo potencial de redução obtido com ações de manutenção corretiva e preventiva, propõe-se a identificação das máquinas mais críticas em relação à quantidade de vazamentos e à subsequente formação de um gráfico de Pareto. Essa abordagem permitirá a priorização das máquinas que demandam atenção devido à criticidade, possibilitando uma implementação gradual das correções necessárias sem a necessidade de

grandes custos orçamentários como seria para a manutenção de todo o parque de máquinas. Com isso, será possível desenvolver um planejamento estratégico de manutenção de longo prazo que favoreça tanto a redução do consumo de óleos quanto a diminuição do volume de resíduos perigosos gerados sem grandes intercorrências no orçamento da empresa.

5.3.3 Tratamento de emulsão oleosa

Dada a necessidade imprescindível de utilizar óleos para o funcionamento das máquinas e a inviabilidade financeira atual de optar por óleos biodegradáveis, além da impossibilidade de eliminar completamente a geração de resíduos perigosos, o estudo buscou explorar métodos de reutilização desses resíduos. Conforme apresentado anteriormente (Figura 5.2), uma significativa porcentagem dos resíduos, cerca de 54,6%, é composta por emulsão oleosa. Por isso, foram propostas análises laboratoriais para identificar possíveis tratamentos para este tipo de resíduo.

O experimento foi realizado por uma empresa certificada na norma NBR ISO 17025 que visa padronizar os testes realizados em laboratórios. Segundo o relatório gerado, os parâmetros de massa bruta, lixiviação e solubilização estão abaixo dos valores permitidos pela norma NBR 10004. Desta maneira, a amostra dessa emulsão é classificada como Classe II, indicando que é um resíduo não perigoso. Com essa classificação, foi possível determinar que a emulsão pode ser tratada na estação de tratamento de efluentes da própria empresa, em contrapartida com o atual tratamento, no qual esta emulsão é enviada para coprocessamento. Sendo assim, esta é alternativa viável, de fácil implementação e sustentável para a gestão deste resíduo, além de diminuir consideravelmente os custos com a destinação para coprocessamento. A Figura 5.7 abaixo demonstra parte do relatório do ensaio realizado, no qual ao final do relatório é possível confirmar a classificação do resíduo como Classe II.

Figura 5.7 - Relatório do ensaio de identificação da amostra de emulsão oleosa

Informações Complementares:	<p>Classificação de resíduos sólidos: As opiniões e interpretações expressas abaixo não fazem parte do escopo da acreditação deste laboratório.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe I (Perigoso) quando um ou mais parâmetros do Lixiviado e/ou Massa Bruta estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe II A (Não Inerte) quando um ou mais parâmetros do solubilizado estiverem acima dos valores máximos permitidos pelos Anexo G da NBR 10004.</p> <p>Um resíduo é classificado como Classe II B (Inerte) quando todos os parâmetros, tanto da Massa Bruta quanto dos ensaios de solubilização e lixiviação estiverem abaixo dos valores máximos permitidos pelos anexos da NBR 10004.</p> <p>Um resíduo líquido, ao qual não é aplicável o ensaio de solubilização pode desta forma ser classificado apenas como sendo de Classe I (Perigoso) ou de Classe II (Não Perigoso)</p>
Massa Bruta:	Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 podemos afirmar que: Os parâmetros satisfazem os limites permitidos.
Lixiviado:	<p>Comparando-se os resultados obtidos com os Valores Máximos Permitidos pela NBR 10004:2004 - Anexo F podemos afirmar que: O(s) parâmetro(s) satisfazem os limites permitidos.</p> <p>Em função dos resultados obtidos, a amostra de resíduo deve ser classificada como Classe II - Não Perigoso.</p>

Fonte: Relatório de ensaio (2024)

Além da classificação da emulsão oleosa gerada na fábrica, conforme a norma ABNT, o relatório laboratorial também apresentou a composição mássica da emulsão nos barris de armazenamento após os sete dias de decantação. Os resultados das amostras coletadas demonstraram que a massa total se dividia em 78% de emulsão oleosa e 22% de óleo na camada superficial. Com base nesses dados, propôs-se uma solução prática: utilizar bombas de sucção para remover a camada de óleo da parte superior da mistura heterogênea. Essa abordagem permite separar a emulsão oleosa do óleo. A emulsão, uma vez separada, seria enviada à estação de tratamento de efluentes, enquanto o óleo extraído seria vendido para empresas especializadas, responsáveis pela filtragem e destinação para reuso.

Analisando-se o tratamento de emulsão oleosa, que compõe 54,6% dos resíduos perigosos da empresa (Figura 4.2) e considerando o valor do quilograma de resíduo enviado a coprocessamento de R\$0,65 por quilograma, atualmente há um custo semestral de aproximadamente R\$35.000,00. Como visto anteriormente, as análises laboratoriais demonstraram que 78% da emulsão é composta por um resíduo Classe I, que pode ser descartado diretamente à rede de tratamento de efluentes da empresa. Desta maneira, multiplicando pela quantidade total de emulsão oleosa, há uma redução esperada de 42,6 toneladas de resíduos perigosos enviados a coprocessamento ou R\$27.500.

Para a fase de tratamento do óleo da emulsão oleosa, que corresponde a 12 toneladas de óleo, é possível realizar o rerrefino e reutilizar esse material. Considerando uma densidade de 0,886 kg/L, que é a especificada na ficha técnica do óleo mais utilizado, estima-se que

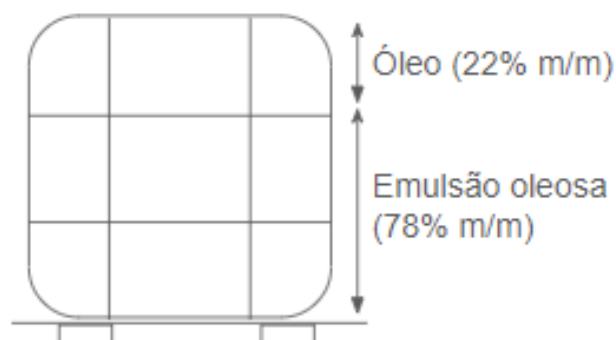
aproximadamente 13.500 litros de óleo podem ser recuperados para reutilização.

Para calcular o ganho potencial com a rerrefinação desses 13.500 litros de óleo usado, e levando em conta as especificações de uma empresa especializada no serviço, realizou-se os seguintes cálculos. Primeiramente, com uma eficiência de 75% no processo de rerrefinação, é possível converter 75% dos 13.500 litros de óleo usado em óleo novo. Assim, a quantidade de óleo novo produzida será de 10.125 litros. Com o preço do litro do óleo novo a R\$20,00 (Tabela 5.5), o valor total do óleo novo produzido será de R\$202.500,00.

O custo do rerrefino é de R\$2,00 por litro de óleo usado. Portanto, para rerrefinar os 13.500 litros, o custo total do rerrefino é de R\$27.000,00. Além disso, o custo de regeneração do óleo da emulsão é estimado em 50% do valor do litro do óleo novo, o que equivale a R\$10,00 por litro. Com base na quantidade de óleo novo produzida, o custo total de regeneração é de R\$101.250,00. Somando o custo do rerrefino e o custo da regeneração, o custo total do processo é de R\$128.250,00. Subtraindo esse custo do valor total do óleo novo, o ganho potencial é de aproximadamente R\$74.250,00.

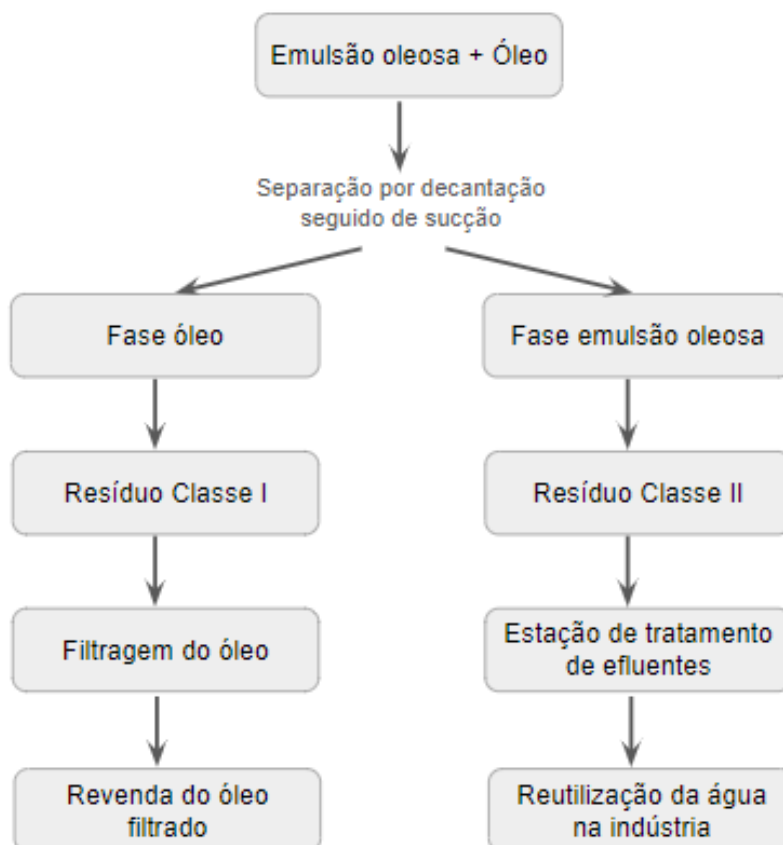
A Figura 5.8 abaixo representa o barril de emulsão oleosa com sua respectiva composição mássica média e a Figura 5.9 representa um fluxograma das etapas para a proposta de tratamento da emulsão oleosa descrita anteriormente, na qual a parte da mistura óleo e água é enviada para a ETE da empresa e os óleos restantes vendidos para empresas especializadas em filtragem de óleos contaminados.

Figura 5.8 - Representação dos barris com emulsão oleosa e sua composição mássica



Fonte: Autor (2024)

Figura 5.9 - Fluxograma das etapas para realização da proposta de reutilização do óleo



Fonte: Autor (2024)

5.3.3 Módulos de treinamento sobre coleta seletiva

Durante as visitas à central de resíduos, as entrevistas com os colaboradores revelaram que uma quantidade significativa de resíduos estava sendo descartada de forma incorreta nos coletores destinados a resíduos perigosos. Essa situação destacou a necessidade de treinamentos sobre coleta seletiva para os funcionários das áreas operacionais, já que os equívocos na separação dos materiais representam uma grande oportunidade para aumentar a eficiência da gestão de resíduos perigosos. Como proposta inicial, sugere-se implementar apresentações para os operadores, orientando-os sobre quais tipos de resíduos devem ser descartados em cada coletor específico e enfatizando a importância de uma destinação correta. Esse tipo de conscientização entre os funcionários que lidam diretamente com o descarte de resíduos pode reduzir significativamente os erros de separação e aumentar as práticas de reciclagem, especialmente para materiais como plásticos e papelões, que são frequentemente colocados nos coletores errados.

Além disso, é fundamental promover o acultramento e a conscientização de toda a

equipe, tanto daqueles que têm contato direto e indireto com os resíduos perigosos quanto dos responsáveis pela gestão da área de resíduos. Para isso, propõe-se a realização de módulos de treinamento quinzenais durante os intervalos de trabalho, visando aprimorar o entendimento dos funcionários sobre a necessidade e importância de uma gestão eficaz de resíduos perigosos. Esses treinamentos incentivam os colaboradores a se tornarem participantes ativos na melhoria contínua das práticas de gestão de resíduos, contribuindo para uma cultura de responsabilidade ambiental dentro da empresa. Com essas ações, espera-se não apenas otimizar a separação e o descarte correto, mas também reduzir significativamente o risco de descartes inadequados.

Para estimar a quantidade de resíduos classificados incorretamente como Classe I, foi realizada uma dinâmica com os colaboradores responsáveis pelo manejo e disposição dos resíduos contaminados. O objetivo foi separar pequenas porções desses resíduos e contar quantos foram indevidamente classificados como Classe I. Os resultados indicam que cerca de 15% dos resíduos analisados deveriam ter sido destinados à reciclagem, e não ao coprocessamento.

Com base em uma análise financeira dos ganhos associados aos módulos de treinamento e considerando uma melhoria de 65% na coleta seletiva, espera-se uma redução de aproximadamente 10% na quantidade de resíduos enviados incorretamente, o que corresponde a cerca de 10 toneladas por semestre. Com o custo atual de R\$0,65 por quilograma para o tratamento de resíduos enviados ao coprocessamento, essa redução tem o potencial de gerar uma economia de aproximadamente R\$6.500,00.

A Tabela 5.6 abaixo exemplifica os módulos de treinamento propostos, explicando os objetivos de cada módulo a ser aplicado.

Tabela 5.6 - Módulos de treinamento para de gestão de resíduos perigosos para os colaboradores

Módulos	Objetivo
Normas e Legislações	Familiarizar os colaboradores com as normas ambientais e legislações específicas (ABNT e CONAMA)
Identificação e Classificação de Resíduos Perigosos	Identificar e classificar corretamente os diferentes tipos de resíduos perigosos gerados na empresa.
Armazenamento e Manuseio Seguro	Garantir conhecimento das práticas seguras de armazenamento e manuseio de resíduos perigosos.
Transporte de Resíduos Perigosos	Conhecimento do transporte correto dos resíduos perigosos, incluindo requisitos legais e práticas seguras.
Redução e Reutilização de Resíduos	Promover práticas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos perigosos para minimizar o impacto ambiental.
Auditorias Internas e Monitoramento de Desempenho	Preparar a equipe para realizar auditorias internas e monitorar o desempenho e os documentos da gestão de resíduos.
Segurança e Emergência	Capacitação para atender emergências garantindo a segurança do local de trabalho.
Conscientização Ambiental	Promover a conscientização ambiental e melhorar a comunicação interna sobre a gestão de resíduos perigosos.
Novos métodos de gestão	Estudo sobre métodos e tecnologias mais recentes em gestão de resíduos perigosos.

Fonte: Autor

5.3.4 Reutilização de toalhas industriais

Seguindo-se a análise de métodos sustentáveis para gerenciar os resíduos sólidos contaminados da empresa, foi realizada uma entrevista com a empresa terceirizada responsável pelo tratamento e destinação final dos resíduos gerados na planta industrial com objetivo de buscar novas possibilidades para a destinação dos resíduos. Durante essa entrevista, foi relatado que, em outras instalações industriais, as toalhas contaminadas com óleo são frequentemente reutilizadas.

Segundo a empresa consultada, o processo de reutilização das toalhas envolve cinco etapas planejadas para garantir que o óleo seja efetivamente removido. Inicialmente, as toalhas contaminadas são enviadas para a empresa terceira, onde passarão pelas outras quatro etapas. Na empresa terceirizada, as toalhas são submetidas a uma pré-lavagem, onde são centrifugadas para eliminar o excesso de óleo. Em seguida, elas são imersas em detergentes

industriais, que ajudam a quebrar as moléculas de óleo aderidas às fibras das toalhas. Após essa etapa, as toalhas são transferidas para uma lavadora industrial, onde são adicionados produtos químicos específicos para melhorar a limpeza. O processo de lavagem é realizado em altas temperaturas, próximas a 80°C, para otimizar a eficácia na remoção de contaminantes. Depois da lavagem, as toalhas passam por diversos ciclos de enxágue com água, garantindo a remoção completa dos resíduos de óleo e dos produtos químicos utilizados. Por fim, o processo de secagem é realizado em grandes tambores com controle de temperatura para otimização e rapidez do processo.

A prática de lavagem industrial das toalhas contaminadas é viável tanto técnica quanto economicamente, permitindo a reutilização de cada toalha de 3 a 5 vezes. Considerando-se a terceirização do serviço de lavagem, a prática torna-se de rápida implementação, sendo necessário somente o cadastro de empresas especializadas e a negociação pelo time de suprimentos.

De acordo com a empresa consultada, a reutilização de toalhas industriais resulta em uma redução de custos de aproximadamente 40% em comparação com a compra de novas toalhas, assumindo que cada toalha pode ser reutilizada 5 vezes. Essa prática diminui a necessidade de aquisição de novas toalhas em 80%, o que também reduz a geração de resíduos.

Como forma de ilustrar, no último semestre foram usadas 160 mil toalhas industriais de 10x20 cm. Com a reutilização, a quantidade de toalhas adquiridas pode ser reduzida para 120 mil, diminuindo a geração de resíduos em cerca de 80%. Cada toalha pesa em média 40 gramas, o que significa que, ao evitar a compra de 120 mil toalhas, a empresa pode reduzir aproximadamente 4,8 toneladas de resíduos anuais. Essa abordagem sustentável apoia os princípios da economia circular, transformando o fluxo de resíduos, que antes seria destinado ao coprocessamento, em uma oportunidade para reaproveitamento de recursos. Isso traz benefícios tanto ambientais quanto financeiros para a indústria.

Financeiramente, com o custo atual de R\$0,40 por toalha, a compra de 160 mil toalhas representa um gasto semestral de R\$64.000,00. Com a reutilização, os custos são reduzidos em 40%, resultando em uma economia de R\$25.600,00. Além disso, com o custo de R\$0,65 por quilograma de resíduo enviado ao coprocessamento, a redução de 4,8 toneladas de resíduos representa uma economia adicional de R\$3.120,00.

5.3.5 Utilização de galões contaminados para produção de tijolos ecológicos

Devido a alta quantidade de galões plásticos contaminados encontrados na visita técnica realizada à central de resíduos foi-se consultado na literatura possíveis métodos para reutilização e inserção destes resíduos em práticas sustentáveis e de economia circular. Segundo Solomon (2023) a reutilização de polímeros de alta densidade contaminados, para a fabricação de tijolos ecológicos é uma solução inovadora e sustentável para o gerenciamento de resíduos plásticos. Esse processo envolve a limpeza inicial do plástico para remover resíduos de óleo e contaminantes, seguida pela trituração do material em partículas menores. Essas partículas são misturadas com outros materiais, como cimento ou argila, para formar uma matriz composta. Essa mistura, em proporções corretas, é moldada em formas de tijolos e submetida a processos de cura que garantem resistência e durabilidade maiores que os tijolos convencionais de argila. Os tijolos ecológicos resultantes são uma alternativa sustentável aos tradicionais, o que pode contribuir para a redução de resíduos enviados pela empresa a coprocessamento, além de oferecer um material de construção mais leve e com menor impacto ambiental (Sarwar, 2023).

A reutilização de galões plásticos contaminados para a fabricação de tijolos ecológicos oferece significativas vantagens econômicas e ambientais. Economicamente, há redução dos custos associados aos galões enviados a coprocessamento. Para estimar a quantidade de material que pode ser reutilizado, considerou-se: o principal galão de plástico enviado a coprocessamento tem uma capacidade de 20 litros e pesa cerca de 1 kg. No primeiro semestre de 2024, utilizou-se aproximadamente 16 mil litros de óleo, resultando em cerca de 800 galões plásticos. Esses galões, ao serem reutilizados, contribuem para a redução de 800 kg de resíduos contaminados que seriam enviados para coprocessamento.

Considerando a viabilidade técnica, é de fácil implementação, sendo todo o processo realizado por empresas terceiras. Ambientalmente, a reutilização diminui a quantidade de resíduos enviados a aterros e coprocessamento, reduzindo a pegada ecológica da empresa. Além disso, a produção de tijolos ecológicos promove a economia circular, minimizando o impacto ambiental e contribuindo para a conservação dos recursos naturais.

5.4 Análise econômica das práticas propostas

Com o objetivo de identificar e quantificar os impactos ambientais causados pela geração de resíduos perigosos, criou-se um indicador para ser utilizado como direcional e meio de comparação com as melhorias propostas para processo de gestão destes resíduos.

Este indicador de desempenho da gestão, foi calculado a partir da divisão da quantidade de resíduos gerados em quilogramas por unidades de produtos produzidos na planta, ou seja quilogramas sobre produto produzido (Kg/pp). Os valores do primeiro semestre e a média do ano de 2024 são apresentados na Tabela 5.7 abaixo.

Tabela 5.7 - Indicador de desempenho da gestão de resíduos perigosos (kg/pp) em 2024

Mês	jan./24	fev./24	mar./24	abr./24	mai./24	jun./24	Média
Desempenho de geração de resíduos perigosos (Kg/pp)	0,09	0,08	0,18	0,05	0,09	0,08	0,1

Fonte: Dados fornecidos pela empresa

Com os principais resíduos perigosos e pontos críticos relacionados à geração destes resíduos, realizou-se o estudo da estimativa dos custos associados ao manejo, transporte e destinação desses resíduos na planta industrial. De acordo com as informações obtidas no PGRS e através de entrevistas com a supervisora da central de resíduos, todo o processo, desde a coleta nos coletores seletivos até a destinação final, é gerido por uma empresa terceirizada. Esta empresa é homologada especificamente para essa função e possui um contrato mensal fixo para realizar os serviços internos, como o manejo, segregação, identificação e armazenamento dos resíduos. No entanto, para o transporte externo e destinação final, a empresa tem contrato que varia de acordo com a quantidade de material a ser retirado, sendo os custos calculados por quilograma de resíduos transportados, com custo médio de R\$0,65 por quilograma de resíduo enviado para coprocessamento. Ou seja, quanto maior a quantidade de resíduos perigosos gerados, maiores os custos para a destinação final.

Por fim, após o entendimento e análise de todo o fluxo de gestão dos resíduos perigosos da empresa, este estudo apresentou estratégias para aumentar a eficiência da gestão de resíduos, diminuição da quantidade de resíduos e custos associados, além de práticas sustentáveis que elevam o nível da economia circular presente na planta industrial. A Tabela 5.8 abaixo compila os principais tópicos explorados e seus principais objetivos associados.

Tabela 5.8 - Resumo dos métodos para gestão dos resíduos perigosos

Métodos	Objetivo	Viabilidade
Manutenção corretiva e preventiva nas máquinas do parque de injetoras e prensas	Redução do consumo desnecessário de óleos hidráulicos	Necessário alto investimento para manutenções
Substituição de óleos minerais por óleos biodegradáveis	Não geração de resíduos perigosos	Aumento de custos associados aos óleos
Separação da emulsão oleosa do óleo	Alteração da destinação final da emulsão oleosa, classificada como Classe II e enviada para ETE	Viável tecnicamente e financeiramente com redução de 78% da emulsão oleosa enviada a coprocessamento
Separação da emulsão oleosa do óleo	Reutilização da quantidade de óleo restante nos barris	Viável tecnicamente e financeiramente com a revenda de óleos filtrados
Destinação de embalagens plásticas para produção de tijolos ecológicos	Reutilização das embalagens plásticas contaminadas e redução da destinação para coprocessamento	Viável tecnicamente e financeiramente com redução de materiais enviados a coprocessamento
Lavagem das toalhas industriais contaminadas	Reutilização das toalhas contaminadas, diminuição do consumo de novas toalhas e redução da destinação para coprocessamento	Viável tecnicamente e financeiramente com redução de compra de toalhas industriais

Fonte: Autor

Considerando os dados do primeiro semestre de 2024, para o qual houve a geração de aproximadamente 100 toneladas de resíduos perigosos. Além disso, todo o resíduo classificado como Classe I é enviado para coprocessamento. Estima-se que o custo operacional total para a destinação dos resíduos perigosos é de R\$65.000,00, calculado com base no valor de R\$0,65 por quilograma de resíduo multiplicado pela quantidade total gerada no período considerado para este estudo de caso.

Com todos os métodos propostos anteriormente analisados, bem como suas viabilidades técnicas e financeiras, entende-se que, para atingir a visão aspiracional de aumento de eficiência e de práticas circulares e sustentáveis, os métodos que mais se destacam incluem a separação da emulsão oleosa do óleo e a implementação de novas práticas de reutilização. O processo de separação da emulsão oleosa do óleo tem um potencial significativo de reduzir em quase 100% a quantidade de resíduos enviados para co-processamento, o que representa um avanço considerável em termos de gestão de resíduos

perigosos. Além disso, a reutilização de toalhas industriais contaminadas, através do processo de lavagem, permite a reutilização de cada toalha de 3 a 5 vezes, resultando em uma redução de custos de aproximadamente 40% em relação à compra de novas toalhas e uma diminuição de 2,5 toneladas de resíduos contaminados por ano. Simultaneamente, a destinação das embalagens plásticas contaminadas com resíduos perigosos para a produção de tijolos ecológicos oferece uma solução inovadora e sustentável para a gestão de resíduos plásticos, contribuindo com mais 0,8 toneladas de resíduos não enviados a coprocessamento. Essa prática não só diminui a quantidade de material enviado para coprocessamento, mas também contribui para a economia circular ao reaproveitar materiais que, de outra forma, seriam destinados a coprocessamento. Somadas, essas estratégias demonstram um aumento da eficácia da gestão de resíduos perigosos e redução dos materiais considerados perigosos e enviados a coprocessamento.

A Tabela 5.9 a seguir resume os principais métodos de gerenciamento de resíduos e os ganhos ambientais associados a cada um. Ela mostra a quantidade de resíduo que não foi destinado ao coprocessamento, a redução de custos pela escolha de alternativas de disposição final, e outros benefícios de cada método. No final da Tabela 5.9, são apresentadas as somas dos ganhos de todos os métodos analisados, com o objetivo de quantificar a melhoria na eficiência da gestão de resíduos perigosos.

Tabela 5.9 - Potenciais benefícios econômicos dos métodos sustentáveis proposto

Métodos	Volume de resíduo reduzido (ton)	Redução de custos com destinação a coprocessamento	Benefícios adicionais
Separação da emulsão oleosa do óleo (Parte emulsão)	42,6	R\$ 27.690,00	-
Separação da emulsão oleosa do óleo (Parte óleo)	12	R\$ 7.800,00	R\$ 74.250,00
Módulos de treinamento para conscientização com coleta seletiva	10	R\$ 6.500,00	-
Lavagem das toalhas industriais contaminadas	4,8	R\$ 3.120,00	R\$ 25.600,00
Destinação de embalagens plásticas para produção de tijolos ecológicos	0,8	R\$ 520,00	-
Total	69,4	R\$ 45.110,00	R\$ 99.850,00

Fonte: Autor

Em seguida, para comparar o aumento de eficácia das ações propostas, a Tabela 5.10 abaixo apresenta o indicador de desempenho da gestão de resíduos perigosos atual, o indicador com a possível redução consequente das propostas mencionadas anteriormente e sua redução mensal. O potencial de redução de materiais enviados a coprocessamento é de aproximadamente 67 toneladas, o que corresponde a aproximadamente 67% dos resíduos gerados nos primeiros seis meses do ano de 2024.

Tabela 5.10 - Comparação do indicador de desempenho da gestão de resíduos perigosos (kg/pp) em 2024

Mês	jan./24	fev./24	mar./24	abr./24	mai./24	jun./24	Média
Desempenho atual de geração de resíduos perigosos (KG/pp)	0,09	0,08	0,18	0,05	0,09	0,08	0,10
Desempenho de geração de resíduos perigosos (KG/pp)	0,03	0,03	0,06	0,02	0,03	0,03	0,03
Redução percentual	65,3%	68,3%	66,3%	67,4%	67,1%	65,6%	66,5%

Fonte: Autor

Por fim, as ações propostas no tópico anterior têm o potencial de reduzir em cerca de 67% a quantidade de resíduos destinados à disposição final. Isso significa que, com a implementação dessas ações, a eficiência na gestão de resíduos pode aumentar em 67%, e os custos associados ao coprocessamento podem ser reduzidos em R\$45.110,00. Além disso, a reutilização das toalhas ecológicas e o rerrefino de óleo podem gerar uma economia adicional no orçamento da empresa, no valor de R\$99.850,00. Esses ganhos econômicos são acompanhados por avanços significativos na redução dos impactos ambientais e na promoção da economia circular dentro da planta industrial.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento acelerado da indústria e o consumo excessivo de recursos naturais destacam a necessidade urgente de uma gestão eficaz dos resíduos gerados pelas grandes indústrias. Entre esses resíduos, os perigosos demandam cuidados e tratamentos especiais para minimizar os impactos ambientais. Assim, uma gestão eficiente de resíduos perigosos é fundamental para a implementação de processos mais sustentáveis.

Este estudo de caso revelou que o parque industrial gera aproximadamente 100 toneladas de resíduos perigosos a cada semestre, representados em 98% pela soma de emulsão oleosa e resíduos sólidos contaminados, os quais apresentam oportunidades significativas para melhorar a eficiência na gestão desses resíduos. A implementação das propostas de tratamento da emulsão oleosa, o treinamento dos colaboradores sobre a importância da coleta seletiva e a reutilização de materiais, como toalhas industriais e galões plásticos, podem levar a uma redução de 67% nos resíduos enviados ao coprocessamento, o que representa uma diminuição de 67 toneladas e R\$45.110,00 nos custos operacionais da empresa.

Além disso, as práticas de reutilização propostas também contribuirão para a redução da compra de novos materiais, alinhando-se às práticas de economia circular e diminuindo o consumo de recursos naturais. Estas ações não apenas otimizam a gestão dos resíduos e promovem a sustentabilidade, mas também reduzem em R\$99.850,00 a compra de novas toalhas e óleos minerais. Desta forma, conclui-se que as ações propostas para a indústria de eletrodomésticos tem potencial de 67% de aumento de eficiência na gestão de resíduos e redução de aproximadamente R\$145.000,00 considerando-se os dados do primeiro semestre de 2024.

Para dar continuidade a este trabalho e potencializar os benefícios identificados,

recomenda-se explorar outras formas de reutilização de materiais e expandir as práticas de economia circular. Uma abordagem futura poderia incluir a análise detalhada dos resíduos sólidos contaminados para identificar oportunidades adicionais de recuperação. Além disso, é crucial investigar novas tecnologias e métodos de tratamento que possam aumentar a eficiência na remoção e reutilização de componentes perigosos. A ampliação do treinamento e a conscientização sobre práticas de gestão de resíduos entre os colaboradores também devem ser aprofundadas. Essas medidas podem contribuir para a redução dos impactos ambientais, além de promover um ciclo produtivo mais sustentável e econômico, alinhado aos princípios da economia circular.

7. BIBLIOGRAFIA

ABADIA, L. G. **Modelos de negócio alinhados aos princípios de economia circular e sustentabilidade: estudo de múltiplos casos.** 2018.

ABNT. NBR 10.004: **Classificação de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro, 2004.

ABU-GHUNMI, D.; ABU-GHUNMI, L.; KAYAL, B.; BINO, A. **Circular economy and the opportunity cost of not ‘closing the loop’ of water industry: the case of Jordan,** 2016.

ALKMIM, E. B. **Conscientização Ambiental E A Percepção Da Comunidade Sobre A Coleta Seletiva Na Cidade Universitária Da UFRJ.** 2015. 150 p. Dissertação (Mestrado de Engenharia Urbana)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ALMEIDA, M. G., & COSTA, F. R. **Gestão e Tratamento de Óleos e Graxas: Desafios e Soluções.** Journal of Environmental Management, 17(2),. 2023

ANTUNES, R. D. **Proposição de Plano de Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos da Linha Branca Aplicado ao Município de Criciúma - SC.** Criciúma, 2014.

ANTUNES, R. M.; BARBOSA, S. M. M. **Tratamento de resíduos e efluentes.** 1. ed. São Paulo: Pro Edu, 2016.

APARICIO, V.; OCHOA, J.; GARCÍA, A. **Impactos Ambientais de Produtos Químicos Persistentes: Estudos e Análises.** Journal of Environmental Management, v. 27, n. 4, p. 345-359, 2021.

BARROS, L. A., SILVA, J. C., & FERREIRA, P. R. **Resíduos Químicos: Riscos e Estratégias de Gestão.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, 22(1), 2021.

BERTINO, D. C.; SOUZA, A. P.; RIBEIRO, C. M. **Contaminação por Metais Pesados e Seus Efeitos no Solo e na Água.** Environmental Science & Pollution Research, v. 19, n. 2, p. 112-126, 2020.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001**. Estabelece diretrizes para a gestão de resíduos sólidos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 abr. 2001. Seção 1, p. 22-24.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 313, de 29 de novembro de 2002**. Estabelece diretrizes para a disposição final de resíduos sólidos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 dez. 2002. Seção 1, p. 25-27.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final de efluentes líquidos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 25-29.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 358, de 29 de abril de 2009**. Dispõe sobre a gestão de resíduos da construção civil e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 abr. 2009. Seção 1, p. 15-17.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 362, de 23 de março de 2005**. Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos sólidos e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 24 mar. 2005. Seção 1, p. 21-23.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 1. 2010

CARDOSO, R. L., & OLIVEIRA, T. A. **Resíduos Biológicos e Patogênicos: Aspectos e Desafios na Gestão**. Journal of Health and Environmental Research, 29(4). 2024

CASTRO, R. M. **Avaliação tribológica de óleos hidráulicos biodegradável e mineral com deslizamento entre as ligas de Cu-Zn e WC-CoCr**. Rio de Janeiro, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília, DF, 2018.

COSTA, A. T., SOUZA, R. L., & ALMEIDA, M. F. **Tratamento de emulsões óleo-água: Alternativas e eficiência.** Revista Brasileira de Engenharia Química, 34(1), 45-56. 2017

DALTIN, D. **Emulsionantes: química, propriedades e aplicações.** São Paulo: Blucher. 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition.** Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation, 2012.

FARHAN, ALEXANDRE. **Transformação: Oleo Hidráulico** - Parte 1. Disponível em <www.plastico.com.br/transformacao-oleo-hidraulico-parte-1r>. Acesso em 10/07/2024.

FERRARI, RONALDO. **Coprocessamento de resíduos industriais em fornos de clínquer.** Itambé, 2014.

FERREIRA, J. M., SILVA, T. L., & SANTOS, L. M. **Regeneração de óleos usados: Técnicas e eficiência.** Journal of Environmental Management, 285, 2021.

FREIRE, M. L. **Estudo Prévio da Viabilidade Econômica e Energética para Implantação de Usina de Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.** 2013. 66 p. – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2013.

GANEM, R. Siena et al. **Políticas setoriais e meio ambiente.** Brasília, DF: Câmara dos deputados, 2015.

GARCIA, M. B. et al. **Resíduos sólidos: responsabilidade compartilhada.** Semioses (v.9 n.2,p.77). 2016

GEISSDOEFER, M., SAVAGET, P., BOCKEN, N. M. P., & HULTINK, E. J. **The Circular Economy – A new sustainability paradigm.** Journal of Cleaner Production, 2017, 143(1), 757-768.

GOMES, A P; CHAVES, T. F.; BARBOSA, J N; BARBOSA, E A. **A questão do descarte de óleos e gorduras vegetais hidrogenadas residuais em indústrias alimentícias.** XXXIII

Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bahia. 2013

GONZÁLEZ, A.; MAFFIA, E. G. - **Development of a Material for Manufacturing a Mold for Plastic Injection.** Materials Research, [s.l.], v. 20, n. 5, 2017.

GONZÁLEZ, M. A.; MARTÍNEZ, R. L.; CAMPOS, S. J. **Riscos à Saúde Associados à Exposição a Produtos Químicos Tóxicos.** Toxicology Reports, v. 34, n. 1, p. 89-105, 2020.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social.** Ciência & saúde coletiva vol.17 no.6 Rio de Janeiro Jun. 2012

HAMNAS, H., & SMITH, J. **Biodegradability of Vegetable Oils: Advances and Applications.** Journal of Environmental Science and Technology, 2023.

HANSEN, D. R.; MOWEN, M. M. **Gestão de custos.** 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais.** Brasília: Governo Federal, 2012.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. **Circular Economy - Resources, Conservation & Recycling,** v. 2017.

KARDEC, ALAN; NASCIF, JÚLIO. **Manutenção: Função Estratégica,** Editora Qualitymark, 3ed, Rio de Janeiro, 2009.

KOBAYASHI, T. **Circular economy and business practices.** Sustainability, v. 12, n. 3, p. 345-359, 2020.

LIMA, E. J., SANTOS, M. F., & GOMES, A. L. **Resíduos Inflamáveis e Tóxicos: Características e Práticas de Manejo.** Revista de Química e Segurança, 18(3), 2020.

LIMA, H. R., GOMES, A. P., & FERREIRA, C. B. **Tratamento químico de resíduos oleosos: Revisão e perspectivas.** Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade, 29(1), 2021.

LIMA, Joedla Rodrigues de; FIRKOWSKI, Olga Lúcia Castreghini de Freitas. **Universidades brasileiras e seus planos de coleta seletiva.** Acta Brasiliensis, Patos-pb, v. 3, n. 3, p.8-13, 30 set. 2019.

Lixo Municipal, **Manual do gerenciamento integrado.** 4ª ed. São Paulo –SP. CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclagem. 1995.

LORA, E. **Prevenção e controle da poluição no setor energético industrial de transporte.** Brasília: ANEEL, 2000.

MAIELLO, A., BRITTO, A. L. N. de P., & VALLE, T. F. (2018). **Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Revista De Administração Pública, 52(1), 24–51.

MARQUES, J.R. **Meio Ambiente Urbano.** Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2005.

MARTINS, J.D.D. e RIBEIRO, M. de F. 2021. **O consumismo como fator preponderante para o aumento da geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais e na saúde pública.** Revista de Direito Econômico e Socioambiental. 12, 2021

MELO, J. P., SANTOS, R. C., & ALMEIDA, V. B. **Gestão de Resíduos Reativos: Desafios e Tecnologias.** Waste Management & Technology Journal, 15(2), 2019.

MENDOZA, N. M.; PÉREZ, R. A.; RODRÍGUEZ, J. F. **Exposição Ocupacional e Saúde: Efeitos a Longo Prazo dos Resíduos Perigosos.** Journal of Occupational Health, v. 15, n. 3, p. 159-173, 2021.

MOBLEY, R. K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, D. J. **Maintenance Engineering Handbook,** 7ed, 2008.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.

MORGADO, T. C.; FERREIRA, O. M. **Incineração de Resíduos Sólidos Urbanos, Aproveitamento na Co-Geração de Energia. Estudo para a Região Metropolitana de Goiânia**. 2006. 18 p. Artigo – Universidade Católica de Goiás - Departamento de Engenharia, Goiânia, 2006.

MURRAY, A., SKENE, K., & HAYNES, K. **The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context**. Journal of Business Ethics, 140(3), 2017.

NASCIMENTO, L. S., SANTOS, E. M., & ALMEIDA, V. M. **Impactos ambientais e gestão de resíduos na indústria de eletrodomésticos**. Revista Brasileira de Engenharia Ambiental, 22(3), 2018.

OLIVEIRA, M. R., COSTA, J. A., & SANTOS, P. H. **Desafios no tratamento de resíduos oleosos na indústria de eletrodomésticos**. Revista Brasileira de Engenharia e Ciências Ambientais, 18(3), 2019.

OLIVEIRA, V. C., SILVA, A. J., & LIMA, T. E. **Óleos hidráulicos: Características e tratamento de resíduos**. Revista Brasileira de Engenharia e Ciências Ambientais, 15(4), 233-245. 2021

PALMEIRA, A. A. **Processos de dobramento e calandragem**. Rio de Janeiro:Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, 2005

PEREIRA, D. C. **Desafios na Gestão de Resíduos Sólidos Perigosos no Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, 13(4), 2019.

PHILIPPI JR, A.; ROMERO, M. de A.; BRUNA, G. C. **Curso de Gestão Ambiental**. 2.ed. Barueri, SP: Editora Manole, 2014.

PIATTI, T. M, FERREIRA. R A. **Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais.** - Maceió : EDUFAL. 2005

RITTER, E. **Disposição final dos resíduos industriais.** Apostila acadêmica e notas de aula, Rio de Janeiro, 2007.

ROCHA, M. P. **Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos em uma fábrica de tinta.** Santa Maria RS, Universidade Federal de Santa Maria. 2006

ROCHA, M. P. **Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos em uma fábrica de tinta.** Santa Maria RS, Universidade Federal de Santa Maria. 2006. 91p. Dissertação de mestrado.

RODRIGUES, A. M; RODRIGUES, I. C; REBELATO, M. G. **Gestão ambiental e responsabilidade social: uma discussão sobre os novos papéis da gestão empresarial.** In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais - Simpoi, 8, 2005, São Paulo. Anais... São Paulo, 2005.

SANCHES, I. S.; SILVA, M. E.; BARBOSA, C. M. **Gestão de Resíduos e Sustentabilidade: Desafios e Perspectivas no Contexto da PNRS.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental, 2020.

SANTOS, J. P., OLIVEIRA, M. S., & CARVALHO, L. P. **Óleos lubrificantes usados: Impactos e soluções para o reaproveitamento.** Journal of Cleaner Production, 215, 2019.

SANTOS, M. S., SILVA, A. L., & FERREIRA, L. T. **Resíduos Corrosivos: Gestão e Impactos Ambientais.** Environmental Safety and Health Journal, 26(2), 2021.

SCHALCH, V. et al. **Resíduos sólidos: conceitos, gestão e gerenciamento.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2019.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. **The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals.** Journal of Cleaner Production, 222, 2019.

SHEHATA, N. B. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais da Indústria Farmacêutica, Estudo de Caso: União Química Farmacêutica Nacional SA, Brasília - DF.** 2012

SILVA, A. A.; FREITAS, R. M. **Impactos Ambientais da Revolução Industrial: Uma Revisão dos Estudos sobre Resíduos e Sustentabilidade no Contexto Brasileiro.** *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, 2018

SILVA FILHO, L. P. **Análise preditiva do óleo lubrificante usado em sistemas automotivos de equipamentos e maquinário pesado.** Ponta Grossa, 2020.

SILVA, A. (2013). **Proposta e implantação de um plano de gestão de resíduos sólidos em indústria do setor metal mecânico.** Porto Alegre: UFRGS.

SILVA, A. P.; SANTOS, R. L.; OLIVEIRA, J. F. **Práticas Industriais e Resíduo Zero: Estudos de Caso e Inovações Tecnológicas.** *Journal of Waste Management & Environmental Engineering*, 2022.

SILVA, C. S. S. **Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.** *Revista Tecnologia e Sociedade*, 2020.

SILVA, F. J., FERREIRA, J. A., & SILVA, P. M. **Gestão de resíduos industriais: Solventes e suas implicações ambientais.** *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 12(2), 102-115. 2018.

SILVA, J. C., FERREIRA, L. T., & SANTOS, M. S. **Desafios Ambientais na Indústria de Plásticos: Uma Revisão Crítica.** *Environmental Science & Pollution Research*, 29(5), 233-245. 2021

SILVA, J. P.; ALMEIDA, S. R.; COSTA, V. M. **Emissões Atmosféricas de Resíduos Perigosos: Consequências Ambientais e Sanitárias.** *Atmospheric Pollution Research*, v. 20, n. 6, p. 462-478, 2022.

SILVA, P. J., OLIVEIRA, A. R., & LIMA, C. D. **Desafios na gestão de resíduos oleosos em indústrias: Um estudo de caso.** Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade, 27(2), 2019.

SILVEIRA, T. S., SANTOS, L. M., & RIBEIRO, P. D. **Regeneração de óleos usados e co-processamento: Soluções para a indústria de eletrodomésticos.** Revista Brasileira de Tecnologia Ambiental, 30(2), 2021.

SIMIAO, JULIANA. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** São Carlos, 2011

SINDERREFINO – **Sindicato Nacional da Indústria do Rerrefino de óleos Minerais. Óleos lubrificantes usados ou contaminados.** Disponível em <<http://www.sinderrefino.org.br>>. Acesso em 20/07/2024.

SIQUEIRA, V. S., MARQUES D. H. F., **Gestão e descarte de resíduos eletrônicos em Belo Horizonte: algumas considerações.** Caminhos de geografia, Uberlândia, 2012.

ZHANG, X.; LI, H.; XU, W. **Efeitos da Contaminação por Metais Pesados na Saúde Humana: Revisão e Atualização.** International Journal of Environmental Health Research, v. 29, n. 3, p. 211-227, 2019.

ZUIN V. G. ; IORIATTI, M. C. S. ; MATHEUS, C. E. **O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Naturais: Uma Proposta para a Educação Química e Ambiental na Perspectiva CTSA;** Revista Química Nova Na Escola , p. 3 – 8 , Vol. 31 N° 1, FEVEREIRO 2009.