

**RODRIGO CHICARINO GOMES**  
**GABRIEL CARVALHO ALMEIDA**

Análise de uma empresa de grande porte de coleta de resíduos e recicláveis.

PROJETO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL  
DA PUC – RIO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO  
DO TÍTULO DE ENGENHEIRO DE PRODUÇÃO.

Orientador: Marcelo Seeling.

Departamento de Engenharia Industrial  
Rio de Janeiro, 12 de junho de 2023.

## **Resumo**

A geração de resíduos sólidos urbanos e seus impactos sociais, econômicos e ambientais vêm se tornando um assunto cada vez mais relevante no mundo atual. A pressão da sociedade para implementação de medidas que visam a minimização desses impactos estimularam o desenvolvimento da gestão de resíduos sólidos urbanos. Conseqüentemente surgiram os conceitos de Economia Circular e Logística Reversa que direcionam a criação de processos de retorno dos materiais contidos nos resíduos sólidos urbanos de volta para o processo produtivo. Diante desse cenário foi realizado um estudo de caso sobre uma empresa de coleta de resíduos sólidos urbanos de grande porte situada no Rio de Janeiro. Este estudo tem como objetivo analisar como é feito o processo de separação de resíduos recicláveis pela empresa, analisar os processos logísticos de coleta e de destinação final dos resíduos e oferecer melhorias para os processos de coleta, de separação e de destinação final desses materiais. Para dar embasamento teórico para o presente estudo foi realizada uma pesquisa da literatura abordando questões relevantes sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, logística reversa, roteirização de veículos, processos de coleta e separação de resíduos. Foi constatado que a empresa está dentro das normas impostas pelos órgãos responsáveis porém apresentou um certo grau de defasagem nos processos de coleta, de separação e de destinação final desses materiais.

**Palavras – chave:** Logística Reversa, Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, Coleta de Resíduos, Coleta de Resíduos Recicláveis

## **Abstract**

The urban solid waste generation and its social, economic and Ambiental impacts are becoming one of the currently most relevant topics on the world. The pressure of society for the implementation of politics that lessen these impacts accelerated the development of the urban solid waste management. The concepts of Circular Economy and Reverse Logistics that direct the creation of return processes of the urban solid waste to the production processes. A case study was carried out on a large-sized company of urban solid waste management located on the city of Rio de Janeiro. This study has the objective of analysing the recyclable waste separation made by the company, study the logistics for collection and final destination of the waste and to present improvements on the company collection, separation and final destination of waste processes. A literature research on urban solid waste management, reverse logistics, vehicle routing and waste collection processes was made to be the theoretical foundation for the study. With the research was observed that the company follows all the rules made by the responsible agencies, but there was some discrepancies on the logistics and final destination processes with the theoretical bases.

**Keywords:** Reverse Logistics, Urban Solid Waste Management, Waste Collection, Recyclable Waste Collection.

## Sumário

1	Introdução	7
2	Referencial Teórico	9
2.1	Os efeitos da produção de lixo para o Mundo	9
2.1.1	Dados Históricos	9
2.1.2	Resíduos Sólidos Urbanos	12
2.1.3	Resíduos de Serviço de Saúde	14
2.2	Cadeia de Suprimentos Verde e Logística reversa	16
2.3	A indústria de Coleta e Reciclagem de Resíduos	18
2.3.1	O desenvolvimento do setor no contexto mundial	18
2.3.2	Contexto Nacional	20
2.3.3	Processos de Reciclagem	21
2.4	Planejamento Logístico	23
2.4.1	A rede logística para coleta de resíduos	23
2.4.2	O Planejamento de rotas e veículos	25
2.4.3	O Processo de separação de resíduos recicláveis	27
2.5	Resíduos de Serviço de Saúde (RSS)	33
2.5.1	Gerenciamento do RSS	33
2.5.2	Processo de Separação	34
2.5.3	Processo de Transporte	34
2.5.4	Processos de Tratamento	36
3	Método de pesquisa	38
3.1	Metodologia do Estudo de Caso	38
4	Estudo de Caso	40
4.1	Descrição do Estudo de Caso	40
4.2	Processo de Planejamento	42
4.3	Processo de Coleta	43
4.4	Processo de Destinação Final	44

4.4.1	Processo dos Resíduos Recicláveis	45
4.4.2	Processo dos Biológicos	46
5	Análise e Discussão	48
6	Conclusão	50
7	Referências Bibliográficas	53
8	Apêndice	67
8.1	Apêndice 1 – Solicitação de Autorização	67
8.2	Apêndice 2 – Protocolo e Questionário	67

### **Lista de Figuras**

Figura 1	- Veículo de coleta Kerbside	29
Figura 2	- Trommel em funcionamento	30
Figura 3	- Disk Screen	31
Figura 4	- Estação de Tecnologia Robótica	32
Figura 5	- Tecnologia Robótica	33
Figura 6	- Fluxograma do Processo de Planejamento	43
Figura 7	- Fluxograma do Processo de Coleta	44
Figura 8	- Resíduos recicláveis separados	45
Figura 9	- Resíduos recicláveis para separar	46
Figura 10	- Preparação dos Resíduos Biológicos	47
Figura 11	- Aquecedores a Lenha	47
Figura 12	- Autoclave	48

## **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Melhorias Recomendadas

50

## 1 Introdução

Segundo a *World Economic Forum* (WEF) (2021), as pessoas estão dando cada vez mais importância à reciclagem de materiais no mundo. Pelo menos 3 em cada 4 pessoas no mundo, acreditam que a reciclagem é um ponto de muita relevância, 59% dos entrevistados tem preferência por produtos com embalagens recicladas e 53% dos entrevistados evitam produtos de difícil reciclagem. Além disso, as pessoas informaram que há barreiras que dificultam o processo de reciclagem. Por exemplo, 42% das pessoas não conhecem programas para reciclagem no local onde vivem, no entanto, mesmo assim, adotam ações alternativas que possam ter algum impacto ambiental positivo.

Outro ponto importante sobre o tema são os impactos econômicos que podem ser atingidos com a reciclagem. Segundo a *United States Environmental Protection Agency* (EPA) (2020), o setor de reciclagem gerou 681.000 empregos nos Estados Unidos, produzindo uma receita de aproximadamente \$5.5 bilhões de dólares em 2020.

De acordo com o *World Wide Fund for Nature* (WWF) (2019), no Brasil foram produzidos 11,3 milhões de toneladas de plástico no ano de 2018, tornando o país o quarto maior produtor de plástico no mundo. Em contrapartida, no mesmo ano o país foi a nação que menos reciclou este tipo de resíduo no mundo, onde somente 1,2% desse lixo foi reciclado.

A poluição pelo plástico afeta a qualidade do ar, do solo e sistemas de fornecimento de água (WWF, 2019). Diante desse cenário, a reciclagem e questões relacionadas têm recebido uma atenção crescente nas últimas décadas. Com o intuito de reduzir o impacto ambiental, diversos países desenvolveram legislações voltadas para a gestão de resíduos (GUARNIERI et al., 2016). Esse fenômeno é observado principalmente em países em desenvolvimento, nos quais práticas relacionadas à gestão de resíduos e logística reversa estão ainda na infância (FERRI, 2015), entre eles o Brasil.

No território nacional, somente em 2010 foi sancionada a Lei 12.305 criando Política Nacional de Resíduos Sólidos. Com essa lei foi determinado o Princípio da Responsabilidade Compartilhada na gestão de resíduos entre os atores da cadeia de suprimento e a adoção obrigatória de Logística Reversa

possibilitando o circuito fechado de materiais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Apesar do Brasil ser o 4º país no ranking de produtores de plástico do mundo, o país carece de um sistema organizado de reciclagem. No território nacional, somente 23,1% dos resíduos plásticos pós-consumo foram reciclados em 2020 (MAXIQUIM, 2021).

Além do plástico, o resto do mercado de recicláveis está carente de sua exploração no ambiente brasileiro. Segundo dados da *International Solid Waste Association* (ISWA) (2022), o Brasil, atualmente, recicla em torno de 4% dos seus resíduos que poderiam ser reutilizados, ficando atrás de outros países na mesma faixa de desenvolvimento como Turquia e Argentina onde em média recicla - se 16% do total. Desta forma, percebe-se, que esse mercado tem muito espaço para crescimento e exploração.

Diante desse cenário, surge a seguinte pergunta de pesquisa que orienta esse trabalho:

Como são transportados e tratados os resíduos urbanos e comerciais no Rio de Janeiro?

Com o intuito de responder à questão acima, a presente monografia tem como objetivo geral estudar uma empresa de grande porte do setor de coleta de resíduos urbanos do Rio de Janeiro, analisar seus processos logísticos e propor melhorias a luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos e boas práticas do setor e da literatura. Para tal, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- 1) Analisar como é realizado o processo de separação de materiais reciclados na empresa.
- 2) Analisar os processos logísticos para coleta e destinação final dos resíduos.
- 3) Oferecer sugestões de melhorias para os processos logísticos, de separação e de destinação final de resíduos.

Este trabalho de pesquisa é focado no estudo de caso de uma empresa de grande porte, localizada na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro – RJ, especializada na coleta de resíduos sólidos urbanos.

Além deste capítulo, este trabalho está organizado em mais cinco capítulos resultantes da pesquisa realizada. O próximo Capítulo traz o referencial teórico abordando os principais temas para o estudo de caso em questão. O Capítulo 3 é



composto pela metodologia de pesquisa utilizada. O Capítulo 4 é resultado da análise da empresa que será referida nesse trabalho como Grupo Ambiental por questões de confidencialidade. O grupo é composto por 3 empresas, a Empresa Ambiental, a Empresa Tratar e a Empresa Secundária. E com o intuito de discutir os problemas encontrados, o Capítulo 5, traz recomendações de melhorias com base no referencial teórico pesquisado. Finalmente o Capítulo 6 é composto pelas conclusões obtidas no estudo e proposta para trabalhos futuros

## **2 Referencial Teórico**

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico abordando questões importantes que auxiliam na compreensão e servem de base para o desenvolvimento desse estudo de caso.

### **2.1 Os efeitos da produção de lixo para o Mundo**

#### **2.1.1 Dados Históricos**

Segundo Vergara e Tchobanoglous (2012), as mudanças demográficas estão concentrando o lixo nos centros urbanos. Além disso, a produção de lixo tende a aumentar na mesma velocidade e sentido da riqueza, da urbanização e da população. Enquanto o número de habitantes global cresce, a distribuição da população está mudando de forma mais acentuada e se concentrando nas áreas urbanas. De acordo com Cohen (2004), o mundo está se urbanizando em uma escala rápida e sem precedentes, e como consequência há uma concentração maior dessa urbanização ocorrendo em pequenos e médios centros urbanos de países de baixa renda.

As mesmas áreas que estão sob maior tendência de urbanização também abrigam um bilhão de novos consumidores. Esta fração da população está aumentando consideravelmente o consumo de carne, carros, eletricidade e outros bens, que consequentemente aumentam o uso e o consumo de recursos naturais e uma quantidade maior de resíduos são descartados (MYERS e KENT, 2003).

Para Vergara e Tchobanoglous (2012), os resíduos descartados pela população refletem tendências tecnológicas e culturais da época. Segundo Walsh (2002), até 1950 na cidade de Nova York nos Estados Unidos, os subprodutos da combustão do carvão eram os materiais mais abundantes encontrados nos resíduos

sólidos urbanos, devido à grande parte das casas queimarem carvão como fonte de energia. De acordo com o autor, o vidro começou a fazer parte dos resíduos coletados após a década de 1960, quando recipientes de vidro e aço não retornáveis substituíram as garrafas de vidro recarregáveis. Já o plástico apareceu no fluxo de resíduos em 1971, devido ao desenvolvimento de tecnologias advindas do petróleo. Mais recentemente os consumidores, de maneira global, adotaram uma variedade de produtos eletrônicos que, por sua vez, geram seus resíduos específicos.

Esta tendência é corroborada por Wagner (2009), nos Estados Unidos, que declara que os consumidores adotam rapidamente as mudanças tecnológicas refletidas no uso de televisores, computadores e telefones celulares. Segundo o autor, em 2007 a população americana produziu 2,25 milhões de toneladas de lixo eletrônico, desse montante 75% foram armazenados obsoletos na casa de seus compradores, 18% foram descartados para reciclagem e 8% foram direto para aterros sanitários.

Diante do cenário global de aumento da quantidade de resíduos gerados pelos centros urbanos, quatro forças imperativas impulsionam o desenvolvimento de políticas de gerenciamento de resíduos sólidos: saúde pública, proteção ambiental, recuperação de recursos e as mudanças climáticas (WILSON, 2007).

A saúde pública tende a ser um fator impulsionador importante de políticas de gerenciamento de resíduos, principalmente em países em baixo desenvolvimento ou em locais com ausência de descarte seguro do lixo, como o Haiti. Além disso, o lixo não coletado ou o que é descartado de maneira errada é capaz de gerar diversas doenças como acontece na Índia. Nesse caso, o país entrou em estado de calamidade pública depois da propagação de inúmeras doenças através das inundações causadas, entre outros problemas, pelo acúmulo de lixo nas ruas (VERGARA e TCHOBANOGLIOUS, 2012).

Segundo Wilson (2007), a proteção ambiental tem a tendência de ser responsável por conduzir as políticas de gestão de resíduos. Para o autor, tal fato acontece principalmente onde a degradação ambiental é altamente visível e, por isso, necessitam de uma legislação forte e ativa para garantir a qualidade do ar, água e solo.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU) (2010), na cidade de Roterdã, na Holanda, a proteção ambiental é um fator de grande

importância para o desenvolvimento de políticas de gestão de resíduos sólidos. Devido à fragilidade ambiental da cidade, a adoção de uma legislação rigorosa fez-se necessária para a manutenção do meio ambiente, com o fim de minimizar os efeitos do descarte do lixo. A necessidade de proteger o meio ambiente, por meio de uma gestão eficaz de resíduos, também pode ser acionada externamente. A Bulgária, por exemplo, foi obrigada a melhorar seu sistema de gerenciamento resíduos para se tornar um membro da União Europeia.

A recuperação de materiais reciclados oferece benefícios ambientais e contribui para o desenvolvimento de políticas especializadas na gestão de resíduos através de indicadores econômicos. Nas populações em que os recursos são escassos muitos materiais podem ser reutilizados ou reciclados ao invés de descartados de forma errada. Desse modo, a recuperação de resíduos tem sido a maneira dominante de tratamento de resíduos em sociedades não industrializadas (VERGARA e TCHOBANOGLIOUS, 2012).

Conforme Wilson (2007), a recuperação de materiais reciclados é uma saída importante para centros urbanos em desenvolvimento que possuem problemas relacionados à falta de capital, pois é uma fonte de renda informal e alternativa. Além disso, segundo o autor, a reciclagem é crucial para economias de países como Índia e China que sendo dependentes de materiais secundários, podem utilizar recursos recuperados para reduzir esta dependência.

As mudanças climáticas atuam como uma força motriz para o desenvolvimento de políticas de gestão de resíduos sólidos, em países industrializados ou em processo de industrialização (WILSON, 2007). Segundo Bogner et al. (2007), os problemas relacionados às mudanças climáticas fizeram com que políticas de gestão de resíduos sólidos fossem obrigatórias em diversos países. De acordo com os autores, apesar do lixo contribuir apenas por 5% para emissões de gases do efeito estufa, maiores responsáveis pelas alterações no clima, o gerenciamento desses resíduos pode ser uma fonte desses gases.

Em 2015, durante a Assembléia Geral da ONU os principais chefes de Estado e de Governo apresentaram os novos dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável globais, com o intuito de alcançar o desenvolvimento sustentável nas suas três dimensões – econômica, social e ambiental de forma equilibrada e integrada (ONU, 2015).

### **2.1.2 Resíduos Sólidos Urbanos**

Os resíduos sólidos urbanos são definidos como todo lixo gerado em atividades domésticas e comerciais. Geralmente são produzidos por pessoas físicas ou empresas e sua coleta é de responsabilidade dos municípios. O crescimento acentuado da população, crescente urbanização e o desenvolvimento da economia, associado com a melhoria do padrão de vida, resultaram em um aumento na quantidade de geração de resíduos sólidos urbanos em todo o mundo (TANMOY, 2012).

Os materiais mais encontrados nos resíduos sólidos urbanos são: matéria orgânica, o papel, o papelão, os tecidos, diversos materiais poliméricos (plásticos e borrachas), o vidro, a madeira e vários tipos de metais e não metais. Nessa diversidade de materiais, são encontrados materiais biodegradáveis mas também substâncias que são conservadas durante um longo período de tempo na natureza, representando um perigo ao meio ambiente (COX et al., 2015; GIDARAKOS et al., 2006; RAFIZUL e ALAMGIR, 2012).

De acordo com Hussein et al. (2018), os resíduos sólidos urbanos são geralmente produzidos a partir de diversas fontes distintas que são resultado de diferentes atividades humanas. Segundo o autor, nos países em desenvolvimento esses resíduos têm sua fonte principal nas residências, seguidos pelos estabelecimentos comerciais, que por sua vez, são seguidos pelas indústrias.

O aumento da geração de tipos de resíduos, que supera a capacidade de assimilação do meio ambiente e a capacidade instalada insuficiente de aterros sanitários, promove a proliferação de lixões a céu aberto. Esse cenário é uma ameaça crescente para a saúde pública, para o meio ambiente e para a qualidade de vida. Com base nas estimativas populacionais pela Divisão de População das Nações Unidas e o PIB produto (PIB) previsto pelo Banco Mundial, é provável que o total de resíduos sólidos aumentará de 13 bilhões toneladas no ano de 1990 para 27 bilhões de toneladas em 2050 (BEED e BLOOM, 1995).

Em 1999 nos Estados Unidos, os resíduos sólidos urbanos eram compostos por 85,7 milhões de toneladas de papel e papelão, 25,2 milhões de toneladas de restos de alimentos, 27,7 milhões de toneladas de aparas de quintal e 12,3 milhões de toneladas de madeira. Totalizando, dessa maneira, 66% da composição da produção total de resíduos daquele ano (EPA, 2002).

Já no ano de 2007, dentre as 254 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos produzidos nos Estados Unidos, o papel e papelão representaram 33%, seguidos das aparas de quintal e restos de comida correspondendo a 25%. Plásticos representaram um total de 12%, metais 8%, e borracha, couro e têxteis cerca de 8%. Depois desses materiais, a madeira apareceu com cerca de 6% e o vidro com 5%. Outros resíduos que não entram em nenhuma das classificações acima representaram aproximadamente 3% dos resíduos sólidos urbanos (EPA, 2008).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) (2022), no Brasil, somente no ano de 2022, foram gerados aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, o que corresponde a um nível de produção diária de 224 mil toneladas. Liderando a geração de resíduos, a região sudeste do país foi responsável por produzir 111 toneladas diárias, ou seja, pouco menos que 50% de todo lixo gerado diariamente no país. A região nordeste representou 24,7% do total de resíduos sólidos produzidos, seguido da região sul com 10,6%. Já a região com o menor nível de geração de resíduos foi a região centro-oeste, representando aproximadamente 7% de todo lixo gerado.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2010), aproximadamente 94 mil toneladas de resíduos orgânicos são produzidas diariamente no Brasil. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), mais da metade de todo resíduo sólido urbano coletado é de matéria orgânica, 22% são classificados como rejeitos e outros, 13% são materiais plásticos, 3% vidro e 3% são metais. Dentre os materiais recicláveis coletados, o plástico tem uma participação de 45%, seguido dos materiais de papel e papelão com 33%. Já os vidros e metais representam cada um, 11% dos resíduos recicláveis.

Os resíduos provenientes do plástico crescem de maneira desastrosa. No intervalo de tempo entre 2004 e 2018, o mundo produziu a mesma quantidade de plástico que o total dos últimos 50 anos do século anterior. Desde o início da produção de itens de plástico, um total de 8,3 bilhões de toneladas de resíduos desse material já foram gerados no mundo todo. No ano de 2015, foram gerados 407 milhões de toneladas de plástico, das quais 164 foram oriundas de embalagens, representando 36% de todo plástico produzido. As embalagens representam cerca de um terço de todos os plásticos utilizados, e na grande

maioria das vezes são descartados de maneira errada. Estima-se que 40% das embalagens vão para aterros e que 32% não sejam recolhidas e escapam do sistema de coleta e sendo descartadas nas ruas, solos, rios, lagoas e oceanos. No ano de 2010, cerca de 9 milhões de toneladas de plástico atingiram os oceanos causando grandes danos (RHODES, 2018).

O lixo eletrônico, acompanhado do plástico, além de ser um dos resíduos sólidos urbanos que mais cresce no mundo também são os materiais que causam maior impacto ambiental. E a presença de produtos químicos e metais exige que esses resíduos sejam descartados de maneira adequada. Além disso a produção total de lixo eletrônico atingiu o nível de 41 milhões de toneladas no ano de 2014, aumentando a uma taxa de 3 a 5% por ano. No mesmo ano, o continente com a maior produção de lixo eletrônico foi a Ásia representando um total de 16 milhões de toneladas, seguido das Américas (norte, sul e central) e Europa que produziram um total de 11.7 milhões e 11.6 milhões de toneladas, respectivamente. Ainda em 2014, a Oceania e a África foram os continentes que apresentaram a menor geração de resíduos eletrônicos com 0,6 milhões e 1,9 milhões de toneladas, respectivamente (AMIT et al., 2017).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) (2021), os resíduos orgânicos são compostos por restos de alimentos e resíduos de jardim gerados através de atividades do ser humano. Dentre matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos, os restos de hortaliças correspondem a uma parcela importante desses resíduos pois são alimentos altamente perecíveis.

De acordo com a Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) (2020), os resíduos orgânicos podem ser definidos como qualquer resíduo gerado pela atividade humana, com origem biológica, que pode ser transformado em um composto orgânico. Além disso, esse lixo pode ser classificado quanto a sua origem como animal ou vegetal.

### **2.1.3 Resíduos de Serviço de Saúde**

Segundo o Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA) (2015), resíduos de serviço de saúde são

“Os resíduos provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal, inclusive os serviços de assistência domiciliar e de trabalhos de campo; laboratórios analíticos de

produtos para saúde; necrotérios, funerárias e serviços onde se realizem atividades de embalsamamento (tanatopraxia e somatoconservação); serviços de medicina legal; drogarias e farmácias, inclusive as de manipulação; estabelecimentos de ensino e pesquisa na área de saúde; centros de controle de zoonoses; distribuidores de produtos farmacêuticos; importadores, distribuidores e produtores de materiais e controles para diagnóstico in vitro; unidades móveis de atendimento à saúde; serviços de acupuntura; serviços de tatuagem, entre outros similares.”

Além disso, o INEA (2015) classifica os resíduos de serviço de saúde em:

- Classe A: caracterizado pela presença de agentes biológicos que podem causar infecções ou doenças.
- Classe B: caracterizado por conter substâncias químicas prejudiciais à saúde pública.
- Classe C: são resíduos caracterizados pela presença de elementos radioativos.
- Classe D: são resíduos semelhantes ao lixo domiciliar, porém oriundos das atividades de serviço de saúde.
- Classe E: são os materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como: lâminas de barbear, agulhas, escalpes, ampolas de vidro, brocas, limas endodônticas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas; tubos capilares; micropipetas; lâminas e lamínulas; espátulas; e todos os materiais de vidro descartados.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) (1999), os países desenvolvidos produzem a maior parte dos resíduos de serviço de saúde através dos leitos ocupados nas dependências hospitalares. A América do Norte, por exemplo, produz cerca de 10 Kg de resíduos por leito por dia. Em contrapartida, a África gera em torno de 1,5 Kg de resíduos por leito por dia. De acordo com Schneider et al. (2001), tal fato pode ser explicado pela grande disponibilidade de tecnologias avançadas nos países desenvolvidos. Segundo o autor, a geração de resíduos de serviço de saúde é diretamente proporcional ao desenvolvimento econômico dos países, como consequência da complexidade e disponibilidade de assistência médica e do crescente uso de materiais descartáveis.

Segundo o Ministério da Saúde (2001), o gerenciamento inadequado dos resíduos de serviço de saúde pode causar problemas ambientais que extrapolam os limites do estabelecimento gerador. O manejo inapropriado desses resíduos é

um risco a saúde pública, impactando de forma direta ou indireta a vida da população. Cabe ressaltar que os estabelecimentos geradores desse lixo não produzem apenas resíduos sólidos. Há a presença de materiais líquidos que exigem um tratamento específico para amenizar a periculosidade das substâncias presentes.

Segundo a OMS (1999), 80% de todo resíduo de serviço de saúde gerado corresponde a materiais semelhantes ao do resíduo domiciliar, sem periculosidade. No entanto, 15% representam os resíduos de tecidos ou fluidos animais e humanos com a presença de agentes biológicos capazes de causar doenças ou infecções. Além disso, 1% corresponde a materiais perfuro cortantes, 3% a substâncias químicas e menos de 1% representam os materiais radioativos.

Os resíduos de serviço de saúde, correspondem a aproximadamente 5% de todo volume de resíduos sólidos urbanos gerados por uma cidade brasileira. No entanto quando descartados inapropriadamente junto a resíduos orgânicos são convertidos em fonte rica de alimento para os animais. Transformando, dessa maneira, todo volume gerado em resíduo infectante. Portanto um processo de separação adequado pode reduzir consideravelmente a quantidade de resíduos contaminados (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

## **2.2 Cadeia de Suprimentos Verde e Logística reversa**

Segundo Srivastava (2008), Cadeia de Suprimento Verde consiste na integração entre o pensamento ambiental e o conceito de cadeia de suprimentos. Incluindo todos os processos da cadeia produtiva, desde o fornecimento e seleção de matérias primas até a entrega do produto final, como também a gestão sobre o fim de vida dos produtos, uma vez decorridos seu tempo de utilidade.

De acordo com Eltayeb et al. (2011), a criação de uma cadeia de suprimento verde gera quatro tipos retornos: ambientais, econômicos, redução de custos e retornos intangíveis, impactando positivamente no capital da empresa. E ainda, de acordo com Sheu et al. (2005), a otimização dos processos de retorno dos produtos em fim de vida útil para a cadeia de suprimentos aumenta em média 21,1% de lucro da empresa.

No entanto, segundo Chaabane et al. (2012), para que haja o desenvolvimento de cadeias de suprimento sustentáveis não se pode deixar de



incluir a logística reversa. Contudo com um foco maior em eficiência ambiental e menor em eficiência econômica, com o intuito de diminuir não só a poluição por descarte de produtos como também a poluição por emissão de gases poluentes.

Segundo Stock (1992), a logística reversa pode ser definida como o termo frequentemente usado para o papel da logística na reciclagem, incluindo disposição de resíduos e gestão de materiais perigosos. De acordo com o autor, a logística reversa abrange todas as questões relativas às atividades logísticas realizadas no descarte, coleta do material, reciclagem, substituição e reutilização de materiais.

Mais tarde a logística reversa foi definida como o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de entrada e armazenamento de bens secundários que irão caminhar em sentidos opostos aos tradicionais da cadeia de suprimentos, com o objetivo de recuperar valor e disposição (FLEISCHMANN, 2001).

Já de acordo com Srivastava (2008), a logística reversa poderia ser definida como um processo de planejamento adequado e eficaz que tem por objetivo, implementar e controlar os fluxos de produtos devolvidos por meio de inspeção, descarte e geração de informações para fins de recuperação de valor. Autry (2005), afirma que esse tema não é uma mera opção para as empresas, mas sim um requisito obrigatório. Para isso utiliza o argumento de que a logística reversa colabora para resultados positivos no setor econômico e estratégico resultantes da reutilização e recuperação de materiais.

Implantar as atividades de logística reversa na cadeia de suprimentos aumenta consideravelmente a complexidade da rede quando se compara com as cadeias de suprimentos tradicionais. Contudo, a organização que consegue enfrentar esses desafios apresenta uma boa vantagem competitiva que é dificilmente replicável por seus concorrentes. Uma rede de logística reversa eficiente requer uma malha logística bem projetada e funcional, com a responsabilidade e capacidade de gerenciamento operacional e administrativo do processo, específicos para cada tipo de material (SRIVASTAVA, 2008).

## 2.3 A indústria de Coleta e Reciclagem de Resíduos

### 2.3.1 O desenvolvimento do setor no contexto mundial

De acordo com Valle (1995), reciclar materiais descartados significa refazer o ciclo de produção permitindo, dessa maneira, o retorno desses materiais para a sua origem sob a forma de matéria prima. Dessa forma, materiais que não degradam facilmente na natureza podem ser reprocessados, mantendo suas características principais, para serem inseridos novamente no ciclo de produção.

Segundo a *United States National Recycling Coalition* (NRC) (1999), o processo de reciclagem corresponde a uma série de atividades. Os materiais descartados são coletados em lugares específicos, classificados quanto ao seu material e origem, processados e, posteriormente, usados na produção de novos produtos.

De acordo com a *United States Northeast Recycling Council* (NERC) (2000), em 1997, na cidade de Nova York nos Estados Unidos, a partir da implementação da indústria de reciclagem, diversos benefícios econômicos e ambientais foram percebidos. O uso de energia foi reduzido em 9%, as emissões de óxidos de enxofre foram amenizadas em 12% e a cidade economizou 2,7 milhões de toneladas de minério de ferro que serviriam de matéria prima para novos produtos.

Segundo Andrew (2005), o processo de reciclagem é o mais comum entre os processos de recuperação de valor do material. Isto se dá, pois, esses processos ocorrem sem ligação entre os fabricantes. Com isso cada tipo material, de diversos fabricantes diferentes, é coletado, inspecionado e separado. A partir daí, no processo de reciclagem, os mesmos tipos de materiais de diversos fabricantes são misturados. O que faz com que esse processo componha o *loop* de retorno de materiais dominante no mundo.

De acordo com Nilsson-Djerf et al. (2000), os resíduos urbanos não são apenas uma grande fonte de bens recicláveis, mas também é fonte de resíduos mais próxima dos cidadãos. E conseqüentemente, essa proximidade, torna as pessoas cada vez mais cientes da importância socioambiental do lixo.

À medida que a população mundial cresce, a produção de resíduos sólidos urbanos aumenta simultaneamente, podendo atingir a marca de 3,4 bilhões de toneladas por ano até 2050 (KAZA et al., 2018). Nos países desenvolvidos, 51%

dos resíduos gerados são convertidos em produtos reciclados. Por outro lado, em países em desenvolvimento, somente 16% dos resíduos sólidos urbanos gerados são reciclados. Além disso, esses países, depositaram 93% de seus resíduos em aterros sanitários, enquanto os países desenvolvidos despejaram, nos aterros sanitários, somente 2% dos resíduos sólidos urbanos produzidos (AFZAL et al., 2021).

Diante do aumento mundial da produção de resíduos sólidos urbanos e os problemas socioambientais gerados por eles, a coleta adequada de resíduos é uma das etapas mais importantes do processo de reciclagem (BAUTISTA e PEREIRA, 2005). Ainda segundo Tavares et al. (2008), os custos relacionados à coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos podem representar mais de 75% do orçamento total destinado à gestão de resíduos.

Segundo Saurabh et al. (2015), no processo de coleta de resíduos sólidos urbanos secos, o lixo é recolhido e entregue em galpões para que seja feita a inspeção e separação. De acordo com o autor, já no caso de resíduos orgânicos, o material é descartado em aterros sanitários. Segundo Fleischmann et al. (2003), a coleta de resíduos corresponde ao processo em que a empresa obtém a posse dos materiais descartados.

Existem 3 maneiras de realizar a coleta de resíduos. O fabricante do produto pode coletar os resíduos gerados diretamente dos seus clientes ou também tem a opção de fazer a coleta a partir de seus varejistas. Além disso, o fabricante, pode realizar esse processo por meio de uma empresa de coleta e logística, terceirizando a coleta dos resíduos gerados por seus produtos (KUMAR e PUTNAM, 2008).

Já de acordo com Webster e Mitra (2007), existem 2 métodos alternativos para o processo de coleta, que são diferenciados a partir do grau de controle que o fabricante tem sobre o processo. Primeiro método é denominado retomada coletiva, aonde o fabricante não tem controle sobre o processo. Enquanto o segundo método é definido como coleta individual que permite o controle total do fabricante. Além disso segundo Atasu et al. (2013), a escolha do método de coleta depende da estrutura de custos e do volume de material coletado.

### 2.3.2 Contexto Nacional

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2010), reciclar é

“O processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do SISNAMA (Sistema Nacional do Meio Ambiente) e, se couber, do SNVS (Sistema Nacional de Vigilância Sanitária) e do SUASA (Sistema Unificado de Atenção a Sanidade Agropecuária)”.

No Brasil, o processo de reciclagem ainda está em desenvolvimento. Somente em 2010 foi sancionada a lei 12.305 referente a Política Brasileira de Resíduos Sólidos estabelecendo tardiamente diretrizes, parâmetros e obrigações para os fabricantes (GUARNIERI et al, 2020). A lei 12.305, determina o princípio da responsabilidade compartilhada na gestão de resíduos entre os envolvidos na cadeia de suprimentos, obrigando a adoção de logística reversa possibilitando o circuito fechado de materiais e incluindo a participação de catadores em processos de recuperação de materiais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, (SNIS) (2019), o Brasil produziu em 2019 cerca de 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, e apenas cerca de 3% desse total foi destinado à reciclagem. Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Plástico (ABIPLAST) (2020), os materiais reciclados, possuem diversas características distintas entre si. De acordo com as características de cada material existe um processo específico de reciclagem. Por esses motivos as indústrias de reciclagem no Brasil são, muitas vezes, voltadas para apenas um tipo de material.

Existem basicamente dois tipos de coleta no Brasil: a coleta porta a porta, e a coleta seletiva. A primeira refere-se ao esquema de coleta em que os resíduos, após serem separados pelos consumidores, são coletados diretamente em seus endereços. Já o segundo, refere-se a coleta de resíduos sólidos previamente segregados de acordo com a composição do seu material (ABIPLAST, 2020).

De acordo com o SNIS (2019), no Brasil no ano de 2018, 61,9% dos municípios não possuíam o processo de coleta seletiva implementado, enquanto no ano de 2019 esse número ainda se reduziu a 61,3%. A região Sul, lidera o ranking de municípios que possuem coleta seletiva com 59,5%, seguido da região

Sudeste com 44,8% dos municípios contendo esse processo de coleta. A região Centro-Oeste ocupa a posição intermediária com uma taxa percentual de municípios com coleta seletiva de 27,7%, seguido pelas regiões Norte e Nordeste com o serviço de coleta abrangendo somente 12,1% dos municípios.

Segundo Guarnieri e Streit (2015), o segmento de embalagens possui particularidades interessantes no Brasil. O envolvimento de catadores no processo de coleta seletiva desses materiais tem uma importante participação no processo de reciclagem. Em muitas cidades do país, a coleta de resíduos recicláveis é de responsabilidade dos catadores, que devido a sua versatilidade consegue atuar em diferentes etapas do processo de devolução.

Segundo o Instituto de Pesquisa e Economia Aplicada (IPEA) (2013), a reciclagem informal de lixo, através dos catadores, é uma atividade comum no Brasil, pois apresenta uma fonte de renda importante para a população de baixa renda. De acordo com o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) (2017), a estimativa é que existam cerca de 800 mil catadores em atividade no país, a maior parte dos catadores são do gênero feminino, cerca de 70% da categoria. Os catadores são responsáveis pela coleta de 90% de tudo que é reciclado hoje no Brasil.

### **2.3.3 Processos de Reciclagem**

Segundo Satchatippavarna et al. (2015), o lixo orgânico, geralmente, é o resíduo gerado em maior quantidade pela maioria dos centros urbanos. Sua composição varia de acordo com cada município e é constituído por materiais biodegradáveis, como alimentos e restos de jardim. De acordo com os autores, as tecnologias mais utilizadas para a reciclagem de resíduos orgânicos é a digestão anaeróbica e a compostagem. Uma terceira opção é a incineração, porém esse processo produz CO<sub>2</sub> e gases de nitrogênio durante combustão das substâncias, e ao final do processo, gera uma cinza residual que geralmente é aterrada.

A digestão anaeróbica trata, principalmente, frações de materiais biodegradáveis e utiliza microrganismos anaeróbicos para degradar a matéria orgânica produzindo um biogás altamente energético composto por metano e dióxido de carbono (DAHUNSI et al., 2016; GHATAK e GHATAK, 2018).

A compostagem é um processo típico de redução e estabilização de substâncias biodegradáveis que utiliza a microorganismos aeróbicos para degradação dos resíduos produzindo um fertilizante orgânico que pode ser usado para correção do solo (GUO et al., 2019).

Os aterros sanitários são considerados outro método de tratamento de resíduos orgânicos. Sua tecnologia, muitas vezes, é amplamente aplicável a todos os tipos de resíduos, porém tem inúmeras desvantagens. O líquido proveniente da lixiviação dos resíduos e a geração de gases, por exemplo, são fatores limitantes para o uso de aterros sanitários, contudo em comparação com os métodos tradicionais, é uma solução eficaz e confiável (GUO et al. 2021).

De acordo Satchatippavarna et al. (2015), existem quatro processos de reciclagem de resíduos plásticos: a reextrusão, que consiste na reintrodução de materiais de plástico no processo de extrusão que é o derretimento dos grânulos de resina termoplástica; o processo mecânico, que transforma o plástico em pequenos grânulos que podem ser usados na produção de novos materiais; o processo químico, que pode ser realizado através da pirólise, gaseificação, hidrogenação líquido-gás, quebra de viscosidade ou craqueamento; e a incineração, que consiste na queima dos materiais com o intuito de geração de energia.

Segundo Uzun et al. (2017), a incineração, a pirólise e a gaseificação são técnicas de tratamento comumente usadas para recuperação de energia do resíduo orgânico utilizando pequenas quantidades de substâncias combustíveis. Ainda de acordo com os autores, a eficiência energética desses métodos depende do calor específico dos resíduos que são tratados.

Para Vollmer et al. (2020), além da reciclagem tradicional do plástico via reextrusão, vários outros processos de reciclagem química têm grande potencial para aumentar as taxas de reciclagem de resíduos. Segundo os autores, cada um dos processos atualmente disponíveis são específicos para cada tipo de plástico. Diante desse cenário, apenas a combinação de diferentes tecnologias poderia resolver o problema causado por esse tipo de resíduos.

## **2.4 Planejamento Logístico**

### **2.4.1 A rede logística para coleta de resíduos**

Segundo Stock (1992), o planejamento logístico para a coleta, disposição de resíduos e gestão de materiais perigosos pode ser definido como logística reversa. Em uma perspectiva mais ampla inclui todas as questões relativas às atividades logísticas realizadas no descarte, coleta do material, reciclagem, substituição, reutilização de materiais.

Nas cadeias de suprimentos convencionais, o desenho da rede de logística é comumente reconhecido como uma questão estratégica de extrema importância. Dessa maneira, a localização das instalações de produção, conceitos de armazenamento e estratégias de transporte são pontos importantes para determinar o desempenho da cadeia de suprimentos. Consequentemente, estabelecer uma rede de logística adequada tem um impacto fundamental na viabilidade econômica de uma cadeia de suprimentos. Para explorar com sucesso as oportunidades de recuperação de valor de produtos recicláveis, as empresas precisam desenhar uma estrutura logística que facilite os fluxos de materiais. Para isso, as empresas precisam considerar todo processo logístico, da coleta até a distribuição de materiais recuperados para os futuros clientes (FLEISCHMANN, 2001).

Segundo com Rodrigues et al. (2014), o desenho e o planejamento de operações e sistemas logísticos sustentáveis são um desafio para as empresas. A fim de transpor esses desafios, elas devem gerenciar de forma eficaz sua estrutura logística levando, em consideração os fatores econômicos, sociais e ambientais.

A estrutura da rede de logística para coleta de resíduos urbanos está intrinsicamente relacionada à localização dos pontos de coleta e a resolução de problemas de alocação desses pontos (POKHAREL e MUTHA, 2009). Segundo Rodrigues et al. (2014), as operações de logística no contexto da gestão de resíduos urbanos, podem ser representadas por tomadas de decisões estratégicas e operacionais. Com a finalidade de determinar as áreas de serviço para cada depósito bem como a definição e agendamento de rotas para cada veículo de coleta. Essas decisões devem representar uma solução de compromisso entre objetivos sociais, econômicos e ambientais, assim construindo, uma versão ambientalmente sustentável do planejamento logístico tradicional.

De acordo com Rodrigues et al. (2014), o planejamento logístico na coleta de resíduos urbanos pode ser entendido como um problema de roteirização de veículos com múltiplos depósitos. No entanto, deve levar em consideração funções matemáticas que representam os objetivos econômicos, ambientais e sociais. E a solução ótima para esse problema nos padrões mencionados é obtida quando as distâncias entre os pontos de coleta e de depósito são minimizadas.

Segundo Quariguasi et al. (2008), atualmente, os consumidores e a legislação de diversos países têm pressionado as empresas a redesenhar suas redes logísticas afim de diminuir os impactos ambientais negativos. Conforme os autores, o objetivo no desenho de redes logísticas mudou e agora não só a minimização de custos, mas também a mitigação dos impactos ambientais deve ser levada em consideração.

Ainda de acordo com os autores, o uso da Programação Multi-Objetivo (*Multi-Objective Programming*) para projetar redes logísticas auxilia a avaliação de *trade-offs* existentes entre o custo da rede logística e seu impacto ambiental. As redes logísticas tradicionais, que levam em conta somente a minimização de custos, tem um custo de 60% em relação às redes logísticas minimamente sustentáveis. Por outro lado, o impacto ambiental das redes de logística tradicionais é 90% superior ao impacto ambiental permitido por legislação.

A coleta dos resíduos representa uma parte significativa dos custos totais de qualquer cadeia de suprimento. O transporte de um grande número de fluxos de baixo volume tende a tornar a coleta uma operação de alto custo. Além disso, os meios de transporte convencionais aumentam os impactos dos gases de efeito estufa sobre o meio ambiente. Isto estimula a busca por soluções ambientalmente sustentáveis mas traz como consequência encarecimento ainda maior do processo de coleta. Algumas operações de pré-processamento podem ser inseridas na rede de logística com o intuito de aumentar a eficiência do transporte. A trituração, por exemplo, pode reduzir consideravelmente o custo de transporte para a maioria dos materiais coletados. Dessa maneira, os benefícios da trituração tornam-se mais significativos para a rede de logística, tendo em vista as grandes distâncias implícitas pela estrutura centralizada (FLEISCHMANN, 2001).



### 2.4.2 O Planejamento de rotas e veículos

Segundo Han e Ponce-Cueto (2015), no processo de coleta de lixo, veículos precisam ser esvaziados em uma instalação de descarte, e posteriormente precisam continuar recolhendo os resíduos de outros clientes. Por isso, de acordo com os autores, é necessário realizar diversas viagens para os depósitos onde o descarte ocorre, e caso seja adicionado mais um depósito de descarte, esse sistema torna-se mais complexo e mais caro. Para Belien et al. (2012), em essência, a coleta de lixo pode ser tratada como um problema de roteirização de veículos.

O “Problema de Roteirização de Veículos” pode ser definido como um cenário onde uma quantidade  $M$  veículos, localizados inicialmente em um depósito, devem entregar quantidades discretas de mercadorias para  $N$  clientes. A resolução desse problema irá determinar a rota ótima usada por um grupo de veículos que irá atender um grupo de usuários pré-determinado (CARIC e GOLD, 2008).

De acordo com Hemmelmayr et al. (2013), o recolhimento de resíduos recicláveis nos pontos de coleta é um “Problema de Roteirização de Veículo”. No entanto, no caso da coleta algumas questões devem ser consideradas. Primeiro, é preciso entender a natureza periódica do modelo, pois a maioria dos pontos de coleta não precisam ser visitados diariamente. Segundo, deve-se considerar a existência de instalações intermediárias em lugares específicos onde os resíduos serão acomodados. Terceiro, é preciso levar em consideração restrições de capacidade dos veículos e horas de trabalho da jornada diária.

Segundo Cordeau et al. (1998), em alguns sistemas de distribuição, o planejamento de entregas precisa ser periódico, pois o atendimento ao cliente ocorre uma ou mais vezes durante um período de tempo determinado. Quando um cliente tem uma frequência de entrega menor que o número de dias do período, surge o “Problema de Roteirização de Veículos Periódica”. De acordo com os autores, essa abordagem busca definir a configuração ótima das entregas para o cliente em um determinado período, ao mesmo tempo em que um conjunto de rotas para cada veículo e para cada dia do período são planejadas. Além disso, a configuração ótima deve minimizar a distância total percorrida e considerar alguns critérios como: o nível de serviço, capacidade do veículo e horas de trabalho para a jornada diária.

De acordo com Hemmelmayr et al. (2013), o uso de roteirizadores para a coleta de resíduos sólidos urbanos melhora a eficiência do processo de transporte em 25%, quando comparado ao processo manual. O algoritmo utilizado pelos autores é chamado de “Problema de Roteirização Multidepósitos com Rotas entre Depósitos”. Esse método é bastante robusto e tem como base o “Problema de Roteirização de Veículos Periódico” elaborado por Cordeau et al. (1998), desenvolvido para a otimização dos processos de coleta e transporte de resíduos sólidos urbanos.

Ainda segundo os autores, o algoritmo considera um horizonte de planejamento de  $t$  dias e um conjunto de pontos de coleta que requerem visitas regulares durante esse horizonte de planejamento. Dependendo da frequência de visitas, para cada cliente, um conjunto de combinações das quantidades de visitas é pré calculado. Por exemplo, se o cliente tem duas visitas num período de seis dias, as combinações possíveis são:  $\{1,4\}$ ,  $\{2,5\}$ ,  $\{3,6\}$ , ou seja, as visitas podem ocorrer nos dia 1 e 4, 2 e 5 ou 3 e 6. A demanda dos clientes é a demanda diária multiplicada pelo numero de dias entre duas visitas consecutivas, como considera-se apenas combinações periódicas, há sempre o mesmo número de dias entre duas visitas consecutivas. Consequentemente, a demanda de um determinado cliente não depende da combinação de dias de visita escolhida, e com isso uma frota fixa e homogênea de veículos pode ser utilizada para cada dia.

De acordo com Hemmelmayr et al. (2013), inicialmente, os veículos são alocados em um único depósito de onde iniciam sua viagem e depois voltam no final do dia. Considera-se também um conjunto de instalações intermediárias onde os veículos descarregam os resíduos, e depois de visitar uma instalação intermediária, o veículo vazio pode continuar sua viagem para coletar mais resíduos. A partir desses dados, cria-se um gráfico  $G = (V, A)$  onde as pontos de coleta e as instalações intermediárias são os vértices  $V$ , onde  $V = 0, 1, \dots, n + s$  e as rotas são os arcos  $A$ , que ligam um vértice ao outro. O vértice 0 corresponde ao depósito, de onde os veículos saem, os vértices de 1 a  $n$  representam os clientes, onde os resíduos são coletados, e os vértices  $n + 1$  a  $n + s$  representam as instalações intermediárias, onde o lixo é despejado. Além disso, um custo não negativo  $C_{ij}$ , representando o tempo ou custo de viagem, é dado para cada arco  $(i, j)$ . Cada cliente  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) tem uma demanda  $D_i$ , que será entregue

ao depósito por um dos  $m$  veículos idênticos. A variável  $X_{ijkl}$  indica se o veículo  $k$  visita o vértice  $j$  imediatamente após o vértice  $i$  no dia  $l$ .

Ainda de acordo com os autores, o objetivo é minimizar o custo total da viagem, que é proporcional ao tempo de viagem durante todos os dias e pode ser representado pela equação (1):

$$\min \sum_{i=0}^{n+s} \sum_{j=0}^{n+s} \sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^t C_{ij} X_{ijkl} \quad (1)$$

A equação acima está sujeita a vinte e uma restrições que estabelecem, os dias que os clientes serão visitados, a quantidade de vezes que um veículo pode ser usado, as restrições de capacidade e horas de trabalho da jornada diária entre outras (HEMMELMAYR et al., 2013).

#### 2.4.3 O Processo de separação de resíduos recicláveis

A motivação mais forte para a triagem central de resíduos é encontrada em áreas onde a separação na fonte e a coleta seletiva são ausentes. Como consequência, esses locais são responsáveis por contribuir significativamente para o aumento das taxas de reciclagem e desenvolvimento de técnicas de separação e triagem (CIMPAN et al., 2015).

Na década de 2000, o aumento da preocupação com os impactos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos nos aterros sanitários, pressionou as empresas a desenvolverem processos de separação de resíduos. Esse cenário resultou no desenvolvimento de tecnologias especializadas processos mecânicos de separação (PRETZ, 2000; THIEL e THOMÈ KOZMIENSKY, 2010).

Com a implementação de novos layouts de depósitos de classificação de resíduos, a empresa de coleta tende a se beneficiar de economias de escala e também com inovações em automação de controle de processos que consequentemente, reduzem as ineficiências comumente observadas na prática operacional. Além disso, as tecnologias desenvolvidas para a separação de recicláveis misturados oriundos da coleta seletiva obrigam as empresas a atualizar os layouts de seus depósitos para atender às novas demandas desse processo (CIMPAN et al., 2015).

Até 2009 nos Estados Unidos as instalações de triagem e separação, em sua maioria, ainda eram de baixa tecnologia onde predominantemente os materiais eram classificados manualmente. No entanto, por ser o país com maior experiência no setor de reciclagem, algumas instalações atingiram um bom nível de desenvolvimento se tornando altamente sofisticadas, com grande capacidade operacional e com grande nível de automação. As grandes instalações possuem de 3 a 5 linhas de processamento e recebem mais de 25 tipos de materiais diferentes (KESSLER CONSULTING INC, 2009).

Fábricas de alta tecnologia, empregam recirculação adicional de fluxos de resíduos combinado com triagem mecânica e manual. Esse processo contribui significativamente para uma maior taxa recuperação dos materiais e reduz ao mínimo os resíduos gerados no processo de separação. Na Alemanha, ainda na década de 1990, as instalações das empresas de coleta passaram por uma mudança profunda. Antes do ano 2000, 250 instalações de triagem de pequena e média capacidade já estavam operando com sistemas de separação de recicláveis por meio da tecnologia automática com o uso de sensores que identificam cada material (CIMPAN et al., 2015).

A recuperação de materiais recicláveis é abordada de duas maneiras distintas: a primeira, com base na separação da fonte e utilização sistemas de coleta separados para os diferentes resíduos; a segunda por processamento mecânico e separação de resíduos nas instalações centrais que recebem maior fluxo de materiais (PRETZ, 2000).

Após duas décadas de estudos para o desenvolvimento de tecnologias no processamento de fluxos de resíduos recicláveis diversos, os processos de triagem e separação evoluíram. Hoje em dia esses processos podem ser realizados através de sistemas que possuem sensores que detectam o tipo de material, e realizam a separação adequada. Desta maneira, aumentam, a padronização e eficiência do processo de separação e triagem (CIMPAN et al., 2015).

As premissas para o desenvolvimento tecnológico em sistemas de triagem e separação envolvem diversos fatores que compõem gerenciamento de resíduos. A evolução da gestão de resíduos depende principalmente de mudanças estruturais da sociedade. Esse desenvolvimento da sociedade, acompanhado de fatores sociais, econômicos e ambientais norteiam a evolução do gerenciamento de resíduos (ZAMAN, 2013).

A coleta seletiva espalhou-se pelos Estados Unidos nas décadas de 1980 e 1990 através do *Kerbside*. A coleta através do sistema *Kerbside sort* era realizada por meio de caminhões que continham diversos compartimentos nas laterais do veículo. Cada compartimento era destinado a uma categoria de resíduo que era previamente separada na origem geradora em sacos diferentes e depositada de forma organizada para a recolha por parte do serviço de coleta (TAYLOR, 2013).

A figura 1 traz a imagem de um veículo de transporte de coleta *Kerbside*. Na foto é possível ver os diferentes compartimentos, na lateral do caminhão, destinado a cada tipo de resíduo que são preenchidos ao longo da rota destinada ao veículo.

Figura 1 - Veículo de coleta Kerbside



Fonte: Western Bay District Council

A partir do desenvolvimento da gestão de resíduos nos Estados Unidos dois sistemas de coleta prevaleceram no mercado, permitindo a coleta de recicláveis variados em um fluxo único (*single-stream*), ou em fluxos diferentes ou duplos (*dual-stream*). No *single-stream*, todos os materiais recicláveis são reunidos em um só montante, permitindo a transporte usando veículos automatizados de coleta de lixo. Esse tipo de processamento impulsionou o desenvolvimento de equipamentos altamente especializados que possibilitou a retirada das embalagens dos recipientes e em seguida separá-las de acordo com a sua classificação. Já no *dual-stream*, os materiais recicláveis são mantidos separados por categorias desde a sua origem (CIMPAN et al., 2015).

Nos países que usam sistema *single-stream*, diferentes equipamentos para o processo de separação podem ser encontrados. No Reino Unido um Trommel é normalmente usado para essa finalidade. Esse equipamento é um tubo cilindro alongado com diversas telas no seu interior que separam os materiais através da gravidade. No entanto na América do Norte o equipamento usado é um disco de telas (KESSLER CONSULTING INC, 2009).

A figura 2 consiste na imagem de um Trommel em funcionamento. Os resíduos são transportados através de uma esteira para dentro do tubo cilíndrico onde é feita a separação mecânica dos materiais.

Figura 2 - Trommel em funcionamento



Fonte: Kessler Consulting Inc. (2009)

O equipamento Norte Americano, chamado de *Disk Screen*, é encontrado normalmente em instalações especializadas na separação de papel. A máquina consiste em uma série de eixos rotativos, cada um contendo um número de discos espaçados ao longo do eixo (WAGNER et al., 2006). Segundo Cimpan et al. (2015), os fabricantes dessas tecnologias prometem uma eficiência de separação entre 80 e 98% para os dois tipos de equipamentos.

A figura 3 traz a imagem de um *Disk Screen*. Nesse equipamento os resíduos são transportados por meio de uma esteira até os eixos rotativos que contém os discos, onde é realizado a separação mecânica dos materiais.

Figura 3 – Disk Screen



Fonte: Kessler Consulting Inc. (2009)

O estado-da-arte na triagem/separação de resíduos pode ser caracterizado pela utilização de componentes operacionais comprovados, padronização no processo, controle, substituição da triagem manual pelo controle de qualidade, redução geral da força de trabalho, elevada diversificação de materiais e alta capacidade de processamento. As instalações de última geração podem ter um total de 20 máquinas de classificação, além de sistemas com diversos sensores usados para tarefas específicas. Algumas dessas instalações usam sensores adicionais instalados nos equipamentos para vigilância de materiais e processos. A medição de fluxo é feita por dispositivos com câmeras ultrassônicas que auxiliam o operador da planta a reagir a alterações de vazão volumétrica. Apesar do alto nível de automação, essas instalações precisam ser acompanhadas de um controle de qualidade manual para corrigir eventuais erros sistemáticos e realizar tarefas de refino (CHRISTIANI, 2009).

A tecnologia robótica está chegando para apoiar ou até mesmo substituir muitos equipamentos ou instalações de triagem/separação, oferecendo, dessa maneira, uma gestão mais eficaz, autônoma e alternativa ao procedimento estabelecido anteriormente. A maioria dos sistemas existentes na indústria, utiliza a agilidade dos robôs para transferir rapidamente recicláveis de um veículo de coleta para uma lixeira ou vice-versa com extrema precisão, velocidade e capacidade. Uma outra maneira de aplicação da robótica é através da integração entre o sistema robótico e o sistema de classificação. Os dois sistemas funcionam

em paralelo, realizando a detecção visual e localizando objetos para a lista de alvos potenciais gerenciados pelo robô (KOSKINOPOULOU et al., 2021).

A figura 4 apresenta uma estação de tecnologia Robótica para a separação dos resíduos sólidos urbanos que está inserida dentro da planta de uma instalação de triagem de resíduos. Começando pela direita dois alimentadores colocam os resíduos em uma esteira transportadora. Os alimentadores estão localizados acima da esteira para fornecer uma mistura controlada de resíduos. A esteira transporta os resíduos para a cabine do robô para que seja realizada a separação. Sob a cabine, existem caixas separadas para cada material e o resíduo resultante do processo de triagem acaba em uma caixa dedicada para este tipo de resíduo.

Figura 4 - Estação de Tecnologia Robótica



Fonte: Koskinopoulou (2021)

A figura 5 apresenta a tecnologia robótica utilizada para a separação de resíduos recicláveis. A cabine onde é instalado o robô recebe, por meio de uma esteira transportadora, os resíduos e faz a classificação e separação dos materiais com a utilização de sensores.



Figura 5 - Tecnologia Robótica



Fonte: Recycleye (2022)

## 2.5 Resíduos de Serviço de Saúde (RSS)

### 2.5.1 Gerenciamento do RSS

O acordo internacional, firmado na Convenção da Basileia, envolvendo mais de 100 países, definiu 4 princípios que orientam a gestão segura de resíduos de serviço de saúde. O primeiro princípio, chamado de poluidor pagador, atribui a responsabilidade legal e financeira da destinação final dos resíduos de serviço de saúde ao gerador. O segundo, o princípio da precaução, diz que se não há como prever a magnitude de um risco específico deve-se assumir que existe um risco significativo e que medidas de segurança devem ser tomadas. O terceiro, o princípio do dever de cuidado, determina que o profissional que realiza qualquer atividade prevista no gerenciamento dos RSS é eticamente responsável por usar o máximo cuidado nessa tarefa. O quarto, o princípio da proximidade, determina que o tratamento e destinação dos resíduos de serviço de saúde ocorra no lugar mais próximo possível de sua origem (OMS, 1999).

O gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde (RSS), no Brasil, normalmente é feito por empresas terceirizadas de coleta, tratamento, disposição e comercialização de materiais recicláveis. Diante desse cenário, é de suma importância a existência de mecanismos de controle e fiscalização. Definindo, dessa maneira, os procedimentos adequados, de acordo com a legislação, para a gestão do RSS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

A legislação de cada país deve fornecer as premissas para as melhores práticas na gestão dos resíduos de serviço de saúde. Dessa maneira, a legislação nacional, deve determinar métodos de controle legais que irão dar legitimidade ao órgão responsável para exercer pressão para a implementação de melhores práticas no gerenciamento dos resíduos de serviço de saúde (OMS, 1999)

Os contratos de terceirização devem ser altamente específicos. Garantindo, dessa maneira, que as empresas terceirizadas cumpram o arcabouço legal vigente, tornando essas empresas corresponsáveis a possíveis problemas ocasionados durante a prestação do serviço. O gerenciamento de RSS deve garantir a qualidade de vida dos funcionários e do meio ambiente. A responsabilidade legalmente determinada pelos órgãos competentes não absolve a responsabilidade de cada cidadão na gestão do RSS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

### **2.5.2 Processo de Separação**

O processo de separação e identificação dos resíduos é essencial para diminuir os efeitos negativos dos resíduos de serviço de saúde. O manuseio, tratamento e descarte adequados para cada tipo de substância ou material reduzem os custos e minimizam os efeitos nocivos desses resíduos a saúde pública. Apesar de muitas organizações terceirizarem a gestão de RSS, o processo de separação deve ser sempre de responsabilidade do gerador (OMS, 1999).

### **2.5.3 Processo de Transporte**

Durante o transporte dos resíduos, é necessário que um formulário de remessa e controle seja utilizado. Esse formulário, especifica as características, quantidade, periculosidade, destinação final e responsáveis do resíduo transportado. Além disso, ele deve acompanhar os resíduos por todo seu trajeto desde o local de produção até o local de disposição final. Terminado o trajeto, a empresa de coleta deve preencher sua parte do formulário e devolver uma cópia do documento para o gerador dos resíduos. A empresa de transporte terceirizada, responsável pela coleta, manuseio e descarte, deve ser registrada e ter as licenças necessárias, obtidas através das autoridades reguladoras, para a realização do serviço. Além disso, as instalações onde ocorre a manipulação desses resíduos

devem estar em conformidade com a legislação específica e conseqüentemente precisam de uma licença adequada para esse tipo de trabalho (OMS, 1999).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2020), através da norma 12810 define que os veículos de coleta no Brasil, responsáveis pelo transporte de resíduos de serviço de saúde devem atender os seguintes critérios:

- Ter superfícies internas lisas, de cantos arredondados e de forma a facilitar a higienização;
- Não permitir vazamento de líquido, e ser provido de ventilação adequada;
- Sempre que a forma de carregamento for manual, a altura de carga deve ser inferior a 1,20 m;
- Quando possuir sistema de carga e descarga, este deve operar de forma a não permitir o rompimento dos recipientes;
- Quando forem utilizados contêineres, o veículo deve ser dotado de equipamento hidráulico de basculamento;
- Para veículo com capacidade superior a 1,0 t, a descarga deve ser mecânica; para veículo com capacidade inferior a 1 t, a descarga pode ser mecânica ou manual;
- O veículo coletor deve contar com os seguintes equipamentos auxiliares: pá, rodo, saco plástico de reserva, solução desinfetante;
- Devem constar em local visível o nome da municipalidade, o nome da empresa coletora (endereço e telefone), a especificação dos resíduos transportáveis, com o número ou código estabelecido na NBR 10004, e o número do veículo coletor;
- Ser de cor branca;
- Ostentar a simbologia para o transporte rodoviário, como previsto na NBR 7500, procedendo-se de acordo com a NBR 8286.

Ao final de cada turno de trabalho, o veículo de coleta deve ser limpo e desinfetado com jato de água quente e sob pressão. Além disso, o resíduo líquido proveniente da lavagem e desinfecção do veículo deve ser encaminhado para tratamento, conforme exigências do órgão estadual de controle ambiental (ABNT, 2020).

#### 2.5.4 Processos de Tratamento

O tratamento dos resíduos de serviço de saúde é realizado por meio de dois processos: térmicos e químicos. No entanto os processos térmicos são os mais comuns na indústria de tratamento de RSS. Esse tipo de processo, consiste em colocar os resíduos em alta temperatura para que haja destruição dos microrganismos patogênicos e diminuição do volume. Atualmente, as tecnologias térmicas empregadas no Brasil, no tratamento deste tipo de resíduo são: incineração, onde há redução de volume e autoclavagem, onde não há redução de volume (ELEUTÉRIO et al., 2008).

Estabelecer a tecnologia mais eficiente ou a melhor combinação de tecnologias para o tratamento do RSS depende de diversos fatores. Cada país possui características específicas como quantidade e composição dos resíduos, espaço disponível, legislação local, aceitação pública e custo. E são essas especificidades que irão determinar a melhor escolha da tecnologia a ser usada (ALAGOZ e KOCASOY, 2007).

O Tratamento por incineração e posteriormente a disposição final das cinzas resultantes nos aterros sanitários é a opção mais utilizada para gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde. Este processo é utilizado para o tratar resíduos que não podem ser reciclados, reutilizados ou descartados diretamente nos aterros sanitários. A combustão do material deve ocorrer na faixa entre 900 e 1200°C por tempo suficiente. Caso os critérios de tempo e temperatura não sejam atendidos haverá a combustão incompleta e produção de substâncias gasosas nocivas à saúde (ALAGOZ e KOCASOY, 2007).

No entanto, segundo Zhao et al. (2008), o tratamento por incineração e posterior depósito de seus resíduos nos aterros sanitários é o processo de tratamento de resíduos que mais contribui para o aquecimento global. De acordo com a EPA (2006), os resíduos de serviço de saúde ao serem incinerados liberam grande quantidade de dióxidos indesejáveis, sendo o processo classificado entre as quatro principais fontes geradoras dessas substâncias poluentes no Estados Unidos.

O processo de autoclavagem, consiste na utilização de vapor d'água superaquecido para manter os resíduos a uma temperatura elevada por

determinado período de tempo durante ciclos de compressão e decompressão. Esses ciclos facilitam o contato entre o vapor superaquecido e os materiais infectados. Os valores de pressão utilizados variam entre 0,3Mpa e 0,35Mpa e a temperatura não passa dos 135°C. Conseqüentemente, esse tratamento tem o objetivo de destruir os microrganismos patogênicos ou reduzi-los a um nível que não represente perigo a saúde pública (ELEUTÉRIO et al., 2008).

Segundo Novak (2008), o processo de autoclavagem pode ser decomposto nas operações a seguir:

- Pré-vácuo: nessa etapa são inseridas no sistema pressões negativas para facilitar o contato do resíduo com o vapor d'água.
- Admissão de vapor: começa a introdução de vapor na autoclave. Na mesma etapa ocorre também o aumento gradual da pressão para facilitar a penetração do vapor nos materiais.
- Esterilização: consiste na manutenção das condições de temperatura e pressão durante determinado período de tempo, definido por um especialista.
- Exaustão lenta: nessa etapa começa a ocorrer a libertação gradual do vapor por meio de um filtro com poros finos o suficiente para evitar a passagem de qualquer microrganismo para o exterior da autoclave.
- Arrefecimento da carga: consiste em realizar o arrefecimento do material até uma temperatura que permita o manuseio.
- Descarte do condensado: o final do processo da origem a um efluente que deve ser descartado em uma estação de tratamento e liberado como efluente doméstico.

### **3 Método de pesquisa**

Este capítulo tem como objetivo a apresentação do método de pesquisa utilizado neste trabalho.

#### **3.1 Metodologia do Estudo de Caso**

Segundo Gil (2002), o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu amplo e detalhado conhecimento. O método pode ser utilizado para diferentes propósitos como nos seguintes:

- Explorar situações reais sem limites claramente definidos;
- Preservar o caráter unitário do objeto estudado;
- Descrever a situação do contexto em que está sendo feita a investigação;
- Formular hipóteses e desenvolver teorias;
- Explicar as variáveis de determinado fenômeno complexo demais para utilização dos métodos de levantamento ou experimento.

Esse método foi escolhido para esse trabalho para que seja possível ter uma visão prática de como uma análise de processos de uma empresa pode ser feita e melhorada com base na literatura.

Ainda segundo Gil (2002), há etapas que são seguidas na maioria dos casos, sendo elas:

- Formulação do problema;
- Definição unidade-caso;
- Determinação do número de casos;
- Elaborar protocolos;
- Coleta de dados;
- Avaliação e análise dos dados;
- Preparar o relatório.

Assim, com base na metodologia definida por Gil (2002) tem-se:

- **Formulação do problema:** Dada a importância do setor que move e trata os resíduos gerados pela sociedade é importante que as empresas consigam realizar isso da forma mais eficiente para que impactem positivamente o meio-ambiente. A pergunta de pesquisa é: “Como são transportados e tratados os resíduos urbanos e comerciais no Rio de Janeiro?” E com essa pergunta de pesquisa foi traçado o seguinte objetivo geral: Estudar uma empresa de grande porte do setor de coleta de resíduos urbanos do Rio de Janeiro, analisar seus processos logísticos e propor melhorias, a luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos e boas práticas do setor e da literatura. A partir desse objetivo geral foram traçados os seguintes objetivos específicos para o trabalho:

1. Análisar como é realizado o processo de separação de materiais reciclados na empresa.
2. Análisar os processos logísticos para coleta e destinação final dos resíduos.
3. Oferecer sugestões de melhorias para os processos logísticos, de separação e de destinação final de resíduos.

- **Definição unidade-caso:** É uma unidade-caso intrínseca visto que o objeto de estudo é a própria empresa de grande porte que trabalha com coleta e reciclagem de resíduos na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro analisada no estudo de caso.

- **Determinação do número de casos:** É um estudo com caso único visto que só uma empresa é analisada.

- **Elaboração do protocolo:** Para que o estudo fosse realizado, uma solicitação por escrito foi entregue para autorização do CEO que pode ser encontrada no apêndice 1. O questionário para as entrevistas foi estruturado como se pode ver no apêndice 2, onde também é possível observar o protocolo de entrevistas seguido. O estudo de caso seguiu as etapas sugeridas por Gil (2002).

- **Coleta de dados:** A coleta de dados foi feita com visitas diretas ao local da empresa e observação dos processos sendo feitos. Outro ponto para coleta foi o acesso dado ao ERP da empresa de onde foi possível obter todas os dados relevantes que não foram possíveis observar. Outros dados foram retirados do próprio website da empresa. Foram feitas entrevistas semi-estruturadas com

aplicação de um questionário especialmente definido para a pesquisa e, quando houve dúvidas adicionais, elas foram sanadas diretamente com o Gerente Operacional da empresa. Além desses métodos para obtenção de dados, também foram obtidas informações através de pesquisas bibliográficas, leitura de artigos sobre o tema e de informações públicas fornecidas por diversas instituições governamentais e civis.

- Avaliação e análise dos dados: Esse passo foi feito com as informações obtidas nas coletas de dados de diversas fontes, comparando-as para garantir o entendimento e a veracidade. Também dados empíricos da observação de campo foram confrontados com a literatura sobre o tema.
- Preparação do relatório: O relatório é do estudo de caso é esta própria monografia.

## **4 Estudo de Caso**

Esse capítulo apresenta o estudo de caso realizado nesse trabalho de pesquisa.

### **4.1 Descrição do Estudo de Caso**

O Grupo Ambiental consiste atualmente em um grupo de 3 empresas, mas altamente relacionadas: a empresa Ambiental, a empresa Tratar e a Secundária. Todos os nomes utilizados são fictícios para manter a confidencialidade.

A primeira empresa do grupo, a Ambiental, foi fundada em 2003, porém ela só teve um crescimento expressivo nos últimos anos. Em 2021, a empresa adquiriu a Empresa Tratar, que realizava o tratamento de resíduos biológicos, e no mesmo ano, houve uma fusão com a Empresa Secundária, formando assim o Grupo Ambiental. Hoje a área de atuação do grupo é na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro, sendo sua sede principal em Bonsucesso e tendo uma filial no bairro da Taquara.

Para ser possível visualizar o tamanho das operações da empresa, foram utilizados os dados de quantidade de coletas, faturamento bruto, quantidade de funcionários e quantidade de resíduos transportados. Segundo os dados cedidos, no ano de 2022, a empresa faturou em torno de R\$ 80.000.000,00, contando com



mais de 250 funcionários, realizou mais de 1.080.000 coletas e transportou mais de 100.000 toneladas de resíduos. Considerando esses dados, a empresa é classificada como de grande porte, pois, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2020), uma empresa que fature mais de R\$ 50.000.000,00 entra nessa classificação e, segundo o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2013), o critério é a empresa de serviços ter mais de 100 funcionários.

Os resíduos que são coletados pela empresa podem ser divididos em 3 classificações com maior volume:

- Extraordinário
- Reciclável
- Biológico (Resíduos de Serviço de Saúde)

O extraordinário é o resíduo comum misturado, onde temos materiais reciclados e orgânicos sem separação. O reciclável é quando há apenas resíduos que podem passar por processo de reciclagem. O biológico é o resíduo que pode conter agentes biológicos que podem causar danos ao ambiente ou a outras pessoas como agulhas usadas, gases com sangue etc. Essas são as classificações utilizadas pela própria empresa para adaptar seus diferentes processos e seguir as normas dos órgãos reguladores.

A empresa tem como enfoque a sua qualidade de serviço e a satisfação de seus clientes então, por isso, ela trabalha com uma métrica interna para controle chamada de “Não Coletas” onde é calculada a porcentagem de quantas coletas não foram possíveis de serem realizadas sobre o total de coletas que deveriam ter sido feitas.

As coletas recebem essa classificação em 3 diferentes casos:

- Quando a equipe não chega ao local dentro da janela de horário definida anteriormente com o cliente;
- Quando a equipe não vai ao local da coleta;
- Quando a equipe vai ao local, informa que a coleta foi realizada, porém informa que não havia resíduo a ser coletado e não há evidência dessa falta de resíduo no local.

Os processos operacionais principais são explicados na Seção 4.3 deste trabalho. A meta da empresa é que esta métrica deve ser igual ou inferior a 0,40% das coletas, pois ela reflete diretamente na qualidade dos serviços percebida pelos clientes e nos custos operacionais.

## 4.2 Processo de Planejamento

O primeiro processo da parte logística é o de planejamento das rotas que irão ser realizadas pelos veículos. O processo começa com o gerente operacional dividindo a cidade do Rio de Janeiro em áreas, turnos e tipo de resíduo coletado. A empresa trabalha com rotas em 3 turnos (manhã, tarde e noite). As áreas atendidas variam de acordo com o turno para se obter um número satisfatório de clientes e um volume adequado de resíduos a serem coletados. Dessa forma, as rotas são designadas para cada área e turno com base na experiência do gerente de planejamento, pelo histórico da operação. Essas rotas são definidas sem uma frequência planejada, elas só são revistas quando há algum fator externo como rotas com métricas ineficientes ou tentativas de diminuição de custos do setor.

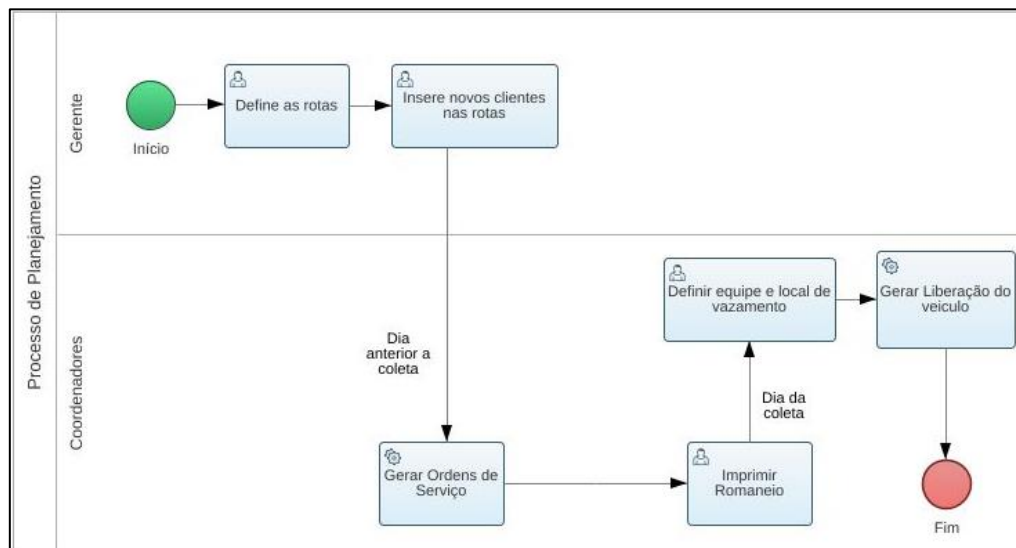
Para complementar esse processo, existem clientes novos, que assinaram contratos recentemente, e clientes que solicitam coletas extras, fora de seu cronograma normal. Esses novos pontos são inseridos pelo gerente em alguma das rotas já existentes, de forma que não prejudique sua eficiência, empregando também a sua experiência com relação ao trabalho e à geografia da cidade.

A próxima fase do processo de planejamento dá-se no dia anterior ao qual a rota será feita, quando os coordenadores operacionais geram as ordens de serviço no sistema *Enterprise Resource Planning (ERP) Greenium* para ter a rota do dia seguinte, que foi previamente planejada pelo gerente com as adições necessárias. Os coordenadores imprimem um romaneio, que é um documento com os registros dessas ordens que deverão ser coletadas.

A última parte do processo é no dia das coletas. Antes do veículo ir para a rua, um registro de liberação de veículo é feito no sistema ERP Greenium pelos coordenadores operacionais e nesse momento eles definem qual veículo e que equipe de motorista e coletor serão utilizados em qual rota. Além disso, também é nesse momento que é definido onde será feito o vazamento dos veículos após a rota, sendo vazamento o ato de descarregar os resíduos em um local adequado.

Na Figura 6, é possível verificar o processo de planejamento para as rotas e coletas.

Figura 6 - Fluxograma do Processo de Planejamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

### 4.3 Processo de Coleta

A Figura 7 traz o fluxograma desse processo, que tem início quando a equipe de coleta chega à empresa e eles recebem, dos coordenadores operacionais, orientação sobre qual é o veículo e a rota do dia e os equipamentos necessários para o dia de trabalho: uniforme, Equipamentos de Proteção Individual (EPI's), celular, impressora, documentos do veículo e o romaneio de ordens de serviço.

Após receber os equipamentos, a equipe segue para o veículo que os foi designado, abrem o aplicativo Greenium no celular e realizam um *checklist* do veículo para verificar se há algum problema com ele. Se houver alguma avaria, a equipe informa no aplicativo. Dependendo da gravidade, a equipe pode ser ou não liberada para sair com o veículo. Sendo algo que deve ser reparado no momento, a equipe é designada para outro veículo, onde esse passo do *checklist* é realizado novamente.

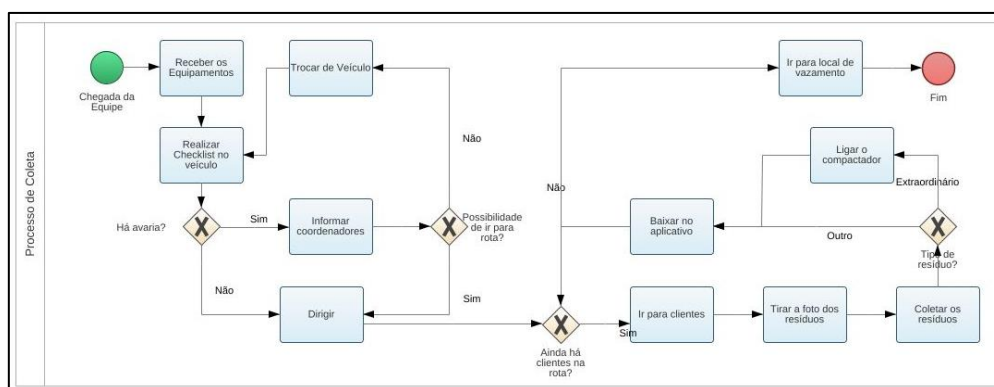
Com o *checklist* feito, a equipe sai em rota para realizar as coletas nos clientes, devendo atentar para as restrições de horários que estão definidas no romaneio que recebem. As restrições foram planejadas para que seja possível

realizar todas as coletas dentro da janela disponível para que o atendimento seja satisfatório ao cliente. Ao chegar ao cliente, dentro do horário definido para não ser considerada uma Não coleta, a equipe deve apontar no aplicativo Greenium sua presença no local e tirar uma foto do resíduo do cliente dentro do aplicativo. Após tirar a foto, a equipe deve realizar a coleta, ligar o compactador do caminhão e baixar no aplicativo a ordem de serviço, informando a quantidade coletada. Nesse passo, se não houver resíduos para coleta, é imprescindível que a foto seja tirada para comprovar posteriormente. Desta forma, a equipe não receberá uma Não coleta. Com o resíduo compactado, a equipe pode seguir ao próximo cliente e repetir os mesmos passos.

Essa parte do processo é um pouco diferente no caso da coleta de resíduos recicláveis e biológicos, pois esses tipos de resíduo não podem ser compactados. Nestas rotas não há veículos compactadores e essa parte do processo não é realizada.

Tendo completado todas as coletas, a equipe segue para o local de vazamento definido pelos coordenadores operacionais na liberação do veículo. Esse local varia de acordo com o tipo de resíduo e a área de atuação da rota.

Figura 7 – Fluxograma do Processo de Coleta



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

#### 4.4 Processo de Destinação Final

O processo de levar os resíduos até sua destinação final adequada varia de acordo com os tipos de resíduos. São descritos os processos para resíduos biológicos e recicláveis, já que os resíduos extraordinários são apenas levados aos aterros sanitários.

#### 4.4.1 Processo dos Resíduos Recicláveis

Os resíduos recicláveis podem ser coletados misturados ou separados anteriormente pelos clientes e isso afeta seu processo final. Atualmente a empresa trabalha com 2 tipos de destinação final para seus recicláveis. Se o resíduo for papelão, então é enviado diretamente ao reciclador. Sendo qualquer outro tipo então é enviado a uma cooperativa que irá separar e entregar a diferentes recicladores.

O processo de separação começa quando o veículo chega ao galpão e despeja todo a sua carga. Nesse momento, um colaborador separa o que ele consegue de papelão, coloca em uma prensa para que fardos de papelão sejam criados e depois os coloca em uma área designada do galpão para serem buscados por outro veículo que irá levar o resíduo até o reciclador. O que sobrou de recicláveis passa por um processo ainda mais simples. Ele é apenas deixado em uma área designada e depois será levado até uma cooperativa de separação.

A Figura 8 demonstra os resíduos que já foram separados por um colaborador, porém o papelão ainda está em sacos e ainda não foi fardado. Na direita é possível observar os sacos com papelão e na esquerda, os sacos com os outros tipos de resíduo.

Figura 8 - Resíduos recicláveis separados



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Na Figura 9 estão os resíduos que ainda necessitam ser separados. Um dos veículos de coleta que está realizando o vazamento de seus resíduos, já separados de papelão, está posicionado na direita na figura.

Figura 9 - Resíduos recicláveis para separar



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

#### 4.4.2 Processo dos Resíduos Biológicos

O processo de destinação final dos resíduos biológicos tem início quando os veículos terminam as rotas e seguem para a empresa do grupo especializada em tratamento de resíduos biológicos, a empresa Tratar. No galpão dessa empresa, há uma autoclave para o tratamento, que vai sendo carregada até completar a sua capacidade, permitindo ligá-la.

Quando o volume suficiente definido pelas regras da empresa é atingido, é colocada lenha para ser queimada e assim tem início o processo de tratamento dentro da autoclave, eliminando os riscos biológicos com o resíduo. Após o ciclo da máquina terminado e o equipamento já ter esfriado, o resíduo é retirado e levado para aterros visto que não há mais risco biológico.

A Figura 10 mostra os resíduos biológicos que irão ser tratados após esvaziar a autoclave de seu último ciclo.



Figura 10 - Preparação dos Resíduos Biológicos



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Figura 11 - Aquecedores a Lenha



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

A Figura 11 apresenta os aquecedores a lenha que são utilizados para aumentar a temperatura dentro da autoclave. Já a Figura 12 mostra a autoclave que é utilizada no tratamento dos resíduos biológicos.

Figura 12 - Autoclave



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

## 5 Análise e Discussão

Este capítulo é destinado às análises e discussões sobre a coleta de resíduos urbanos na empresa estudada, com base no referencial teórico pesquisado.

De acordo com os dados fornecidos pela empresa, a roteirização dos veículos para o serviço de coleta de resíduos sólidos urbanos é feita de maneira manual. Ou seja, um funcionário recebe os pontos em que as coletas irão ser realizadas e, de acordo com a quantidade de motoristas, veículos e sua experiência, define as rotas a serem utilizadas.

Helmmelmayr et al. (2013), desenvolveram um algoritmo denominado “Problema de Roteirização Multidepósitos com Rotas entre Depósitos” que aumenta a eficiência do processo de coleta e transporte em 25% quando comparado ao processo manual. Ainda que a aplicação desse algoritmo no mundo real não seja parte do escopo desse trabalho, recomenda-se a adoção de um roteirizador comercial que pode melhorar o serviço oferecido pela empresa a seus clientes, além de reduzir os custos associados ao negócio. De acordo com os dados fornecidos pela empresa, apenas o custo com abastecimento dos veículos é em



média de R\$ 350.000,00 por mês. Dessa forma, usando o algoritmo do “Problema de Roteirização Multidepósitos com Rotas entre Depósitos”, se o aumento na eficiência das rotas diminuisse o tempo e a quilometragem em 25%, haveria uma economia de R\$ 87.500,00 mensais, que é um valor significativo e que impacta diretamente nos resultados da empresa. No entanto, mesmo que o ganho fosse de apenas 5% utilizando roteirizadores comerciais, um quinto do mencionado por Helmmelmayr et al. (2013), ainda assim haveria uma economia de R\$17.500,00.

A empresa Ambiental, possui dois galpões, um no bairro de Bonsucesso e outro no bairro da Taquara. Essas sedes são responsáveis por serem pontos de partida e chegada para diversos veículos que atendem todo município do Rio de Janeiro. Diante do cenário descrito acima, percebemos como a empresa está operando de acordo com a literatura, pois operações de pré-processamento na rede de logística com o intuito de aumentar a eficiência do transporte são realizadas com a compactação dos resíduos dentro dos próprios veículos (FLEISCHMANN, 2001).

Em relação aos processos de destinação final dos resíduos biológicos, os passos de tratamentos e destinação seguem o que está descrito no referencial teórico. A autoclavagem utilizada para tratar os agentes biológicos que podem estar presentes nos resíduos e depois os levando a um aterro sanitário mostra como o processo é feito de forma segura e sem causar impactos excessivos ao meio-ambiente.

Observando o processo de destinação final dos resíduos recicláveis, é possível perceber como há uma grande ineficiência no processo. A separação dos resíduos recicláveis é realizada só com papelão e feita por apenas um colaborador. Como há um volume de resíduos muito grande, o processo de separação se torna difícil gerando erros humanos e com pouca eficiência de separação.

Dessa forma, recomendamos que a empresa procure fornecedores de plantas de separação para que aplique esse projeto em sua operação e processos. Segundo Cimpan et al. (2015), os fabricantes dessas tecnologias de separação descritos no referencial teórico prometem uma eficiência de separação entre 80% e 98% para os dois tipos de equipamentos apresentados. Assim seria possível alavancar a eficiência de separação da empresa e ela conseguiria trazer um resultado melhor com o mesmo volume de resíduos recicláveis coletados hoje. Além da separação dos outros resíduos, a separação do próprio papelão se tornaria

mais eficiente visto que o colaborador atual sofre de dificuldades para separar o papelão dos resíduos misturados, segundo informado pelo próprio em uma visita feita ao galpão da empresa.

Segundo dados fornecidos pela empresa, hoje é coletado em torno de 30 toneladas de resíduo reciclável por mês. Outra informação que a empresa nos forneceu foi a análise gravimétrica de seus resíduos que demonstra que dessas 30 toneladas, 13,5 são de papel, 12,7 são de plástico, 2,5 de vidro e 1,3 de metal. Para saber o retorno dessa sugestão, a empresa nos forneceu os preços que recebe nos resíduos misturados e quando eles são enviados separados. Os resíduos misturados rendem R\$ 0,25 por quilograma, recebendo então R\$ 7.500,00. Se a separação fosse feita, receberia R\$ 0,20 por quilograma de papel, R\$ 1,80 por quilograma de plástico, R\$ 5,90 por quilograma de metal e sobre o vidro as informações entregues são de que o valor é muito baixo não sendo relevante para essa separação. Com esses valores, multiplicando pelo peso de cada material e levando em conta a eficiência de 80% da máquina, sendo essa a mais baixa na literatura, chega-se ao valor mensal de aproximadamente R\$ 28.000,00 com a venda dos resíduos. Esse aumento de R\$ 20.500,00 mensais foi encontrado utilizando o pior dos cenários de eficiência da planta e isso demonstra um aumento relevante nas receitas mensais da empresa.

Na Tabela 1 estão os pontos que foram recomendados que a empresa analise e utilize para aumento de sua eficiência.

Tabela 1 - Melhorias Recomendadas

Ineficiência	Recomendações	Ganho mensal mínimo
Roteiro das rotas	Roteirizador	R\$ 17.500,00
Separação de Resíduos	Planta mecânica de separação	R\$ 20.500,00

Fonte: Elaborado pelos Autores

## 6 Conclusão

Este trabalho de conclusão de curso foi feito utilizando a metodologia de estudo de caso, sendo o objeto de estudo uma empresa de grande porte de coleta

de resíduos instalada na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Além disso, a pergunta de pesquisa que direcionou o trabalho foi: Como são transportados e tratados os resíduos urbanos e comerciais no Rio de Janeiro?

Utilizando a pergunta de pesquisa, foram traçados objetivos geral e específicos para o resultado desse trabalho. O objetivo geral é estudar uma empresa de grande porte do setor de coleta de resíduos urbanos do Rio de Janeiro, analisar seus processos logísticos e propor melhorias, a luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos e boas práticas do setor e da literatura. Os objetivos específicos são: analisar como é realizado o processo de separação de materiais reciclados na empresa, analisar os processos logísticos para coleta e destinação final dos resíduos, oferecer sugestões de melhorias para os processos logísticos, de separação e de destinação final de resíduos. É possível observar como os objetivos foram atendidos visto que os processos da empresa foram observados e analisados. Seus processos foram descritos na presente monografia e sugestões de melhorias, utilizando a literatura como base, foram feitas na seção 5 deste trabalho.

Com a utilização do estudo de caso foi possível entender como uma empresa de grande porte trata os processos dos seus resíduos e como ela funciona diariamente. Além disso, foi possível observar que a empresa já utilizava de algumas práticas descritas na literatura para aumentar a eficiência e a qualidade de seus processos.

Apesar dos pontos positivos encontrados com o estudo, também foi possível encontrar práticas que estão ultrapassadas e que podem impactar o resultado da empresa, tanto lucrativo quanto de qualidade. A essas práticas foram recomendadas possíveis melhorias que podem trazer grandes retornos futuramente.

De posse das informações levantadas através desse trabalho foi possível propor algumas mudanças que podem resultar em melhorias no futuro. O processo de roteirização dos veículos é realizado de maneira manual, através da experiência da pessoa responsável pelo processo. Recomenda-se a utilização de algoritmos e sistemas computacionais de roteirização de veículos oferecendo mais eficiência e segurança ao transporte de resíduos. O processo de triagem de recicláveis na empresa ainda é defasado quando comparado aos modelos internacionais, sendo feito exclusivamente de forma manual. Recomenda-se, portanto, a aquisição de

tecnologias mecânicas visando melhor eficiência, menor custo a longo prazo e maior capacidade de operação. Em decorrência da defasagem observada nos processos de triagem/separação as instalações também apresentam a mesma característica, sendo assim, recomenda-se, a modificação do *layout* das instalações da empresa para permitir a incorporação das novas tecnologias.

Para estudos futuros seria importante aplicar, no processo de planejamento de rotas e veículos, o algoritmo do “Problema de Roteirização Multidepósitos com Rotas entre Depósitos” criado por Helmmelmayr et al. (2013). Além disso, seria importante também procurar soluções alternativas para a defasagem das instalações de triagem que não envolvam grandes investimentos.

## 7 Referências Bibliográficas

ABNT. Norma Brasileira. Resíduos Sólidos – Classificação. NBR 10004. 2004. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=T0pJNTgyRndVYVZtQzJHZmtMM11GcG5vT0k2d1MrV2M=>. Acesso em: 09 jun. 2023.

ABNT. Norma Brasileira. Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos. NBR 7500. 2023. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=TkhKWkRvT29vOXdGaHgwQ3prZmwzbEtZNjNjRUEvQko5OVlxbWRpdlZxaz0=>. Acesso em: 09 jun. 2023.

ABNT. Norma Brasileira. Emprego da sinalização nas unidades de transporte e de rótulos nas embalagens de produtos perigosos. NBR 8286, Cancelada. 2003. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=WktqM1B5VWEybm03QVV0T TJPVEVXeEdXUmNzajYzVIA0WjNRTIEzSDFvWT0=>. Acesso em: 09 jun. 2023.

ABNT. Norma Brasileira. Resíduos de serviços de saúde, Gerenciamento extraestabelecimento, Requisitos. NBR 12810. 2020. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/pnm.aspx?Q=Rjg4UzRkTVROdHhjb2JpU3ljd FJCU1BDNURUaVB5c0RmdmRyMitnUko2RT0=>. Acesso em: 08 jun. 2023.

ABIPLAST. Modelos de Negócios para Aprimoramento da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. 2020. Disponível em: [https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Relatorio\\_Modelo\\_-RSU\\_Brasil\\_abiplast.pdf](https://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Relatorio_Modelo_-RSU_Brasil_abiplast.pdf). Acesso em: 10 de mai. 2023.

ABRELPE. Panorama Abrelpe 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 05 mai. 2023.

AFZAL, Husain Khan; EDUARDO, Alberto Lopez Maldonado; NADEEM, A. Khan; LUIS, Jesús Villarreal-Gomez; FARIS, M. Munshi; ABDULLAH, H. Alsabhan; KAHKASHAN, Perveen. Current solid waste management strategies and energy recovery in developing countries - State of art review. *Chemosphere*, vol. 291, parte 3. 2021.

ALAGOZ, B. Aylin Zeren; KOCASOY, Gunai. Treatment and disposal alternatives for health-care waste in developing countries – a case study in Istanbul, Turkey. *Waste Management & Research*, vol. 25, p. 83 - 89. 2007.

AMIT, Kumar; MARIA, Holuszkoa; DENISE, Croce Romano Espinosa. E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 122, p. 32 - 42. 2017.

ANDREW, M. King; STUART, C. Burgess; WINNIE, Lijomah; CHRIS, A. McMahon. *Reducing Waste: Repair, Recondition, Remanufacture or Recycle?* Wiley InterScience, vol. 14, p. 257 - 267. 2005.

ANVISA. Porte de Empresa. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/acessoainformacao/perguntasfrequentes/administrativo/porte-de-empresa>. Acesso em: 23 abr. 2023.

ATASU, A.; TOKTAY L.B.; VAN WASSENHOVE, L.N.. How collection cost structure drives a manufacturer's reverse channel choice. *Producing and Operation Management*, vol. 22, p. 1089 - 1102. 2013.

AUTRY, C. Formalization of reverse logistics programs: a strategy for managing liberalized returns. *Ind. Mark Management*, vol. 34, p. 749 - 757. 2005.

BAUTISTA, Joaquín; PEREIRA, Jordi. Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. *Omega*, vol. 34, p. 617 - 629. 2005.

BEEDE, D.N., BLOOM, D.E. The economics of municipal solid waste. *World Bank Research Observer*, vol. 10, p. 113 - 150 . 1995.

BELIEN, J.; BOECK, L.; ACKERE, J. Van. Municipal solid waste collection and management problems: a literature review. *Transportation Science*, vol. 48, p. 1 - 158. 2012.

BOGNER, J; ABDELRAFIE AM; DIAZ, C; FAAIJ, A; GAO, Q; et al. Waste management. In *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press. 2007.

CARIC, T.; GOLD, H. *The Vehicle Routing Problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics. 2008.

CIMPAN, Ciprian; MAUL, Anja; JANSEN, Michael; PRETZ, Thomas; WENZEL, Henrik. Central sorting and recovery of MSW recyclable materials: A review of technological state-of-the-art, cases, practice and implications for materials recycling. *Journal of Environmental Management*, vol. 156, p. 181 - 199. 2015.

COHEN, B. Urban growth in developing countries: a review of current trends and a caution regarding existing forecasts. *World Dev*, vol. 32, p. 23 - 51. 2004.

CORDEAU, J.; GENDREAU, M. LAPORTE, G. A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems. *Networks*, vol. 30, p. 105 - 119. 1998.

COX, Janson T.; YESILLER, Nazli; HANSON, James L. Implications of variable waste placement conditions for MSW landfills. *Waste Management*, vol. 46, p. 338 - 351. 2015.

CHAABANE, A.; RAMUDHIN, A.; PAQUET, M. Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme. *International Journal of Production Economics*, vol. 135, p. 37 - 49. 2012.

CHRISTIANI, J. Möglichkeiten und Randbedingungen einer Wertstoffrückgewinnung aus Abfallgemischen (Possibilities and constraints for resource recovery from waste mixtures). In: URBAN, A., HALM, G. *Kasseler Wertstofftage, Kasseler Modelle mehr als Abfallentsorgung*. Alemanha: Fachgebiet Abfalltechnik e Kassel University Press, p. 146-152. 2009.

WESTERN BAY DISTRICT COUNCIL. Kerbside Collective kicks off this week. 2021. Disponível em: <https://www.westernbay.govt.nz/council/news-and-updates/news?item=id:2ejbqtiw17q9swob7hr>. Acesso em: 11 jun. 2023.

DAHUNSI, S.O.; ORANUSI, S.; OWOLOBI, J.B.; EFEOVBOKHAN, V.E. Mesophilic anaerobic co-digestion of poultry dropping and Carica papaya peels: Modelling and process parameter optimization study. *Bioresource Technology*, vol. 216, p. 587 - 600. 2016.

EMPRABA. Fundação de apoio à pesquisa do Distrito Federal. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/secoes/residuos-organicos>. Acesso em: 08 mai. 2023.

ELEUTÉRIO, João Pedro Lima; HAMADA, Jorge; PADIM, Antônio Fernando. Gerenciamento Eficaz no Tratamento dos Resíduos de Serviço de Saúde – Estudo de duas tecnologias térmicas. XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2008. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2008\\_TN\\_STP\\_069\\_490\\_11445.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_069_490_11445.pdf). Acesso em: 21 mai. 2023.

ELTAYEB, T. K.; ZAILANI, S.; RAMAYAH, T. Green supply chain initiatives among certified companies in Malaysia and environmental sustainability: Investigating the outcomes. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 55, p. 495 - 506. 2011.



EPA. An Inventory of Sources and Environmental Releases of Dioxin-Like Compounds in the United States for the Years 1987, 1995, and 2000. 2006. Environmental Protection Agency. 2006. Disponível em: [https://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p\\_download\\_id=459709](https://oaspub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=459709). Acesso em: 22 mai. 2023.

EPA. Recycling Economic Information (REI) Report. 2020. Disponível em: <https://www.epa.gov/smm/recycling-economic-information-rei-report>. Acesso em: 14 abr. 2023.

EPA. Success story: Turning garbage into gold, Solid waste and emergency response. Environmental Protection Agency. 2002.

EPA. Municipal solid waste generation, recycling, and disposal in the United States: Facts and figures for 2007. U.S. Environmental Protection Agency. 2008.

FERRI, G.L.; CHAVES, G.D.L.D.; RIBEIRO, G.M. Reverse logistics network for municipal solid waste management: the inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. *Waste Management*, vol. 40, p. 173 - 191. 2015.

FLEISCHMANN, M. Reverse Logistics Network Structures and Design. Report Series Research in Management. 2001.

FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN WASSENHOVE L. N. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operations Management*, vol. 10, p. 156 - 173. 2001.

FLEISCHMANN, M.; VAN NUNEN, J.A.E.E.; GRAVE, B. Integrating closed-loop supply chains and spare parts management at IBM. *Inform*, vol. 33, p 1 - 124. 2003.

GIDARAKOS, E.; HAVAS, G.; NTZAMILIS, P. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. *Waste Management*, vol. 26, p. 668 - 679. 2006.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002. *Métodos e técnicas de pesquisa social*, vol. 5, 2002.

GHATAK, Das Manjula; GHATAK, Amitava. Artificial neural network model to predict behavior of biogas production curve from mixed lignocellulosic co-substrates. *Fuel*, vol. 232, p. 178 - 189. 2018.

GUARNIERI, P.; STREIT, J.A.C. Implications for waste pickers of Distrito Federal, Brazil arising from the obligation of reverse logistics by the National Policy of Solid Waste. *Latin American Journal of Management for Sustainable Development*, vol. 2, p. 19 - 35. 2015.

GUARNIERI, P.; STEIT, J.A.C.; BATISTA, L.C. Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 153. 2020.

GUARNIERI, P.; SILVA, L.C.; LEVINO, N.A. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: a Brazilian case, vol. 133, p. 1105 - 1117. 2016.

GUO, Xiao-xia; LIU, Hang-tao; WU, Shu-biao; Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, vol. 662, p. 501 - 510. 2019.

GUO, Hao-nan; WUC, Shu-biao; TIAND, Ying-jie; ZHANGE, Jun; LIUA, Hong-tao. Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology*, vol. 319. 2021.

HEMMELMAYR, V.; DOENER, Karl F.; HARTL, Richard F.; RATH, Stefan. A heuristic solution method for node routing based solid waste collection problems. *J Heuristics*, vol. 19, p. 129 - 156. 2013.

HAN, H.; PONCE-CUETO, E. Waste Collection Vehicle Routing Problem: Literature Review. *Traffic Engineering Review*, vol. 27, p. 345 - 358. 2015.

HUSSEIN, I; ABDEL-SHAFY, A.; MONA, SM; MANSOUR, B. Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 27, p. 1275 - 1290. 2018.

IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro. 2010.

INEA. Norma operacional para licenciamento de atividades de coleta e transporte rodoviário de resíduos de serviço de saúde. 2015. Disponível em: [http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdgx/~e\\_disp/inea0081326.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdgx/~e_disp/inea0081326.pdf) . Acesso em: 17 de mai. 2023.

IPEA. Os que sobrevivem do lixo. Desafios do Desenvolvimento. 2013. Disponível em: [https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2941:catid=28&Itemid=23](https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2941:catid=28&Itemid=23). Acesso em 10 de mai. 2023.

ISWA. O futuro do setor de gestão de resíduos. Tendências oportunidades e desafios para a década. 2022. Disponível em: <https://www.iswa.org/wp-content/uploads/2022/09/ISWA-Future-of-the-Waste-Management-Sector-Portuguese.pdf?&v=19d3326f3137>. Acesso em: 19 de abr. 2023.

KAZA, Silpa; YAO, Lisa C.; BHADA-TATA, Perinaz; VAN WOERDEN, Frank. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. World Bank. 2018.

KESSLER CONSULTING INC. Materials Recovery Facility Technology Review. Department of Solid Waste Operations, Florida. 2009.

KUMAR, Sameer; PUTNAM, Valora. Cradle to cradle: Reverse logistics strategies and opportunities across three industry sectors. Int. J. Production Economics, vol. 115, p. 305 - 315 .2008.

KOSKINOPOULOU, Maria; RAPTOPOULOS, Fredy; PAPADOPOULOS, George; MAYRAKIS, Nikitas; MANIADAKIS, Michail. Robotic Waste Sorting Technology. IEE Robotics and Automation Magazine, vol. 28, p. 50 - 60. 2021.

MAXIQUIM. Cálculos dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plásticos Pós Consumo no Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.picplast.com.br/portal/picplast/arquivos/Indices-Reciclagem-2020-PICPlast-divulgacao-final.pdf> . Acesso em: 13 abr. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Qualidade Ambiental. Programa Nacional Lixão Zero. Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/agendaambientalurbana/lixao-zero/Programa-Lixao-Zero.pdf/@@download/file/Programa-Lixao-Zero.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm) . Acesso em: 13 abr. 2023.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Gerenciamento de Resíduos de Serviço de Saúde. 2001. Disponível em: [https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual\\_RSS\\_Parte1.pdf](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/Manual_RSS_Parte1.pdf). Acesso em: 18 mai. 2023.

MNCR. Quantos catadores existem em atividade no Brasil ?. 2017. Disponível em : <https://www.mnccr.org.br/sobre-o-mnccr/duvidas-frequentes/quantos-catadores-existem-em-atividade-no-brasil>. Acesso em: 10 mai. de 2023.

MYERS, N; KENT, J. New consumers: the influence of affluence on the environment. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 100, p. 4963 - 4968. 2003.

NERC. Recycling and the Environment: Facts about Recycling in New York. 2000. Disponível em: <https://archive.epa.gov/wastes/conservation/tools/rmd/web/pdf/nerc.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2023.

NILSON, Djerf J.; MCDOUGALL, F. Social factors in sustainable waste management. Warmer Bulletin, vol. 73, p. 18 - 20. 2000.

NOVAK, F.R. Autoclavagem. 2008. Instituto Fernandes Figueira / FIOCRUZ. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biossegurancahospitalar/dados/material13.htm>. Acesso em: 22 mai. 2023.

NRC. Buy Recycled Guidebook. 1999. Disponível em: <https://www.greenbiz.com/sites/default/files/document/O16F4773.pdf>. Acesso em 08 mai. 2023.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Safe management of wastes from health-care activities. 1999. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42175/9241545259.pdf>. Acesso em: 17 mai. 2023.

ONU. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2023.

ONU. Solid Waste Management in the World's Cities, Water and sanitation in the worlds cities. United Nations Human Settlements Programme. 2010. Disponível em:

[https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/02/solid\\_waste\\_management\\_in\\_the\\_worlds\\_cities\\_water\\_and\\_sanitation\\_in\\_the\\_worlds\\_cities\\_2010.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/02/solid_waste_management_in_the_worlds_cities_water_and_sanitation_in_the_worlds_cities_2010.pdf). Acesso em: 11 jun. 2023.

POKHAREL, S.; MUTHA, A.. Perspectives in reverse logistics: A review. Resources, Conservation and Recycling. *Ômega*, vol. 53, p. 175 - 182. 2009.

PRETZ, T. Processing of municipal household waste material. Mineral Processing on the Verge of the 21st Century. Routledge, vol. 1. 2000.

QUARIGUASI, J. Frota Neto; BLOEMHOF-RUWAARD, J.M.; VAN NUNEN, J.A.E.E. Designing and evaluating sustainable logistics networks. *Int. J. Production Economics*, vol. 111, p. 195 - 208. 2008.

RAFIZUL, Islam M.; ALAMGIR, Muhammed. Characterization and tropical seasonal variation of leachate: Results from landfill lysimeter studied. *Waste Management*, vol. 32, p. 2080 - 2095. 2012.

RECYCLE EYE. Recycleye to showcase AI-powered robotic waste sorting system at IFAT 2022. 2022. Disponível em: <https://www.recyclingproductnews.com/article/38621/recycleye-to-showcase-ai-powered-robotic-waste-sorting-system-at-ifat-2022>. Acesso em: 09 jun. 2023.

RHODES, C.J. Plástico pollution and potential solutions. *Science Progress*, vol. 101, p. 207 - 260. 2018.

RODRIGUES, Tânia P.R.; GOMES, Maria I.; BARBOSA-PÓVOA, Ana Paula. Planning a sustainable reverse logistics system: Balancing costs with environmental and social concerns. *Ômega*, vol. 48, p. 60 - 74. 2014

SATCHATIPPAVARNA, Sireethorn; MARTINEZ-HERNANDEZ, Elias; PAH HANGB, Melissa Y.L.; LEACHB, Matthew; YANG, Aidong. Urban biorefinery for waste processing. *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 107, p. 81 - 90. 2015.

SAURABH, Agrawal; RAJESH, K. Singh; QASIM, Murtaza. A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 97, p. 76 - 92. 2015.

SEBRAE. Anuário do trabalho na micro e pequena empresa: 2013. 2013. Disponível em: [https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa\\_2013.pdf](https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf) . Acesso em: 23 abr. 2023.

SCHNEIDER, V.E.; EMMERICH, R.C.; DUARTE, V.C.; ORLANDIN, S.M. Manual de gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde. Baliero. 2001.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 18º Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/residuos-solidos-1/2018>. Acesso em: 16 mai. 2023.

SHEU, J.; CHOU, Y.; HU, C. An integrated logistics operational model for green-supply chain management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 41, p. 287 - 313. 2005.

STOCK, J. R. *Reverse Logistics*. Oak Brook, IL: Council of Logistics Management. 1992.

SRIVASTAVA, S. K. Network design for reverse logistics. *Omega*, vol. 36, p. 535 - 548.2008

TANMOY, Karak; R.M, Bhagat; PRADIP, Bhattacharyya. Municipal Solid Waste Generation, Composition, and Management: The World Scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 42, p. 1509 - 1630. 2012.

TAVARES, G.; ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; DA GRAÇA CARVALHO, M.;. A case study of fuel savings through optimisation of MSW transportation routes. *Managemente Environmental Quality*, vol. 19, p. 444 - 454. 2008.

TAYLOR, B. Into High Gear. *Recycling Today*. GIE Media Inc, Richfield, Ohio, USA .2013. Disponível em: [https://www.recyclingtoday.com/rt50-MRF\\_high-gear.aspx](https://www.recyclingtoday.com/rt50-MRF_high-gear.aspx). Acesso em: 01 jun. 2023.

THIEL, S.; THOMÉ-KOZMIENSKY, K.J. Mechanical-biological pre-treatment of waste: hope and reality. *Papers and Proceedings of the ISWA World Congress*. 2010.

UNIVASF. Qual a diferença entre lixo orgânico e inorgânico? Pró-Reitoria de Planejamento e Desenvolvimento Institucional. 2020. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/qual-a-diferenca-entre-lixo-organico-e-inorganico#:~:text=Fazem%20parte%20do%20lixo%20org%C3%A2nico,da%20natureza%20em%20pouco%20tempo>. Acesso em: 8 mai. 2023.

UZUN, Harun; YILDIZ, Zeynep; GOLDFARB, JILIAN L.; CEYLAN, Selim. Improved prediction of higher heating value of biomass using an artificial neural network model based on proximate analysis. *Bioresource Technology*, vol. 234, p. 122 - 130. 2017.

VALLE, Cyro Eyer. *Qualidade ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente*. São Paulo: Pioneira, 1995. Disponível em: <https://meioambientengenharia.files.wordpress.com/2014/09/cyro-eyer-valle.pdf>. Acesso em: 09 mai. 2023



VERGARA, Sintana E.; TCHOBANOGLOUS, George. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. *Annual Reviews*, vol. 37, p. 277 - 309. 2012.

VOLLMER, Ina; JENKS, Michael J.F.; ROELANDS, Mark C.P.; WHITE, Robin J.; HARMELEN, Toon Van; WILD, de Paul; VAN DER LAAN, Gerard P. MEIRER, Florian; KEURENTIES, Jos T.F.; WECKHUYSEN, Bert M. Beyond Mechanical Recycling: Giving New Life to Plastic Waste. *Angew. Chem. Int.*, vol. 59, p. 15402 - 15423. 2020.

WAGNER, J.; FRANKE, T.; SCHABEL, S. Automatic sorting of recovered paper Technical solutions and their limitations. *Progress In Paper Recycling*, vol. 61, p. 14 - 21. 2006.

WAGNER, TP. Shared responsibility for managing electronic waste: a case study of Maine, USA. *Waste Management*, vol. 29, p. 3014 - 3021. 2009.

WALSH, DC. Urban residential refuse composition and generation rates for the 20th century. *Environ. Sci. Technol*, vol. 36, p. 4936–4942. 2002.

WEBSTER, S.; MITRA, S. Competitive strategy in remanufacturing and the impact of take back laws. *Journal of Operations Management*, vol. 25, p. 1123 - 1140. 2007.

WEF. World Economic Forum. This is what stops people from recycling more, finds a global survey. 2021. Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2021/11/barriers-to-recycling-sustainability-survey/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

WILSON, DC. Development drivers for waste management. *Waste Management*, vol. 25, p. 198 - 207. 2007.

WWF. World Wide Fund for Nature. Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização. 2019. Disponível em:

[https://jornalimosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic\\_report\\_02-2019.pdf](https://jornalimosocioambiental.files.wordpress.com/2019/03/plastic_report_02-2019.pdf). Acesso em: 13 abr. 2023.

ZAMAN, A.U. Identification of waste management development drivers and potential emerging waste treatment Technologies. *Int. J. Environmental Scienci Technology*, vol. 10, p. 455 - 464. 2013.

ZHAO, Wei; VAN DER VOET, Ester; HUPPES, Gialt; ZHANG, Yufeng. Comparative life cycle assessments of incineration and non-incineration treatments for medical waste. *Springer-Verlag*, vol. 14, p. 114 - 121. 2008.

## 8 Apêndice

### 8.1 Apêndice 1 – Solicitação de Autorização



Rio de Janeiro, 03 de Fevereiro de 2023.

Ao CEO,

Estamos enviando essa solicitação para que possamos realizar nosso trabalho de conclusão de curso em sua empresa. Gostaríamos de ter acesso apenas para a realização do trabalho aos seguintes pontos:

- Entrevista com o gerente operacional;
- Acesso as instalações da empresa;
- Acesso ao ERP da empresa;
- Entrevistas com alguns colaboradores da equipe operacional.

Agradeço a atenção e aguardo a autorização.

### 8.2 Apêndice 2 – Protocolo e Questionário

#### Protocolo de Entrevistas

Todas as entrevistas foram realizadas de forma presencial nas instalações da empresa. O protocolo tem início informando que as informações serão mantidas sob sigilo, informando o objetivo do trabalho e pedindo autorização para registrar o que foi dito. Depois é solicitado que o entrevistado se apresente e assim as perguntas registradas em questionário foram realizadas. Finalizando agradecendo a entrevista e seguindo para o próximo entrevistado.

### **Questionário**

**Nome:**

**Cargo:** Gerente Operacional

Pergunta 1: Como é feito o processo de planejamento operacional?

Pergunta 2: Como é deveria ser o processo de coleta?

Pergunta 3: Como é diferenciado o processo de destinação final a partir do resíduo coletado?

Pergunta 4: Qual é em média o volume de resíduos movidos pela empresa?

Pergunta 5: Com quais valores de resíduos recicláveis a empresa trabalha?

**Nome:**

**Cargo:** Equipe Operacional

Pergunta 1: Como seu trabalho é feito?

Pergunta 2: Há alguma dificuldade relevante em alguma parte de seu trabalho diário?