Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp

DOUTORADO

ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ALLINE MARCHESIN COSTA**

# AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DO SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM: UM ESTUDO DE CASO.

Bauru
2023

**ALLINE MARCHESIN COSTA**

# AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DO SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM: UM ESTUDO DE CASO.

Tese apresentada como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", na área de concentração: Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini
Coorientador: Dr. Michel Xocaira Paes
Coorientadora: Profª. Drª. Cássia Maria Lie Ugaya

Bauru
2023

Costa, Alline Marchesin.
Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida do setor informal de reciclagem: um estudo de caso / Alline Marchesin Costa, 2023
130 p.

Orientador: Sandro Donnini Mancini
Coorientador: Michel Xocaira Paes
Coorientadora: Cássia Maria Lie Ugaya

Tese (Doutorado)–Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia, Bauru, 2023

1. Resíduos sólidos. 2. Avaliação do Ciclo de Vida. 3. Sustentabilidade. 4. catadores. 5. Reciclagem. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. I. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Câmpus de Bauru**

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE ALLINE MARCHESIN COSTA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 22 dias do mês de agosto do ano de 2023, às 08:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de TESE DE DOUTORADO de ALLINE MARCHESIN COSTA, intitulada **AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DO SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM: UM ESTUDO DE CASO**. A Comissão Examinadora foi constituida pelos seguintes membros: Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciencia e Tecnologia Campus de Sorocaba Unesp, Prof. Dr. RICARDO GABBAY DE SOUZA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciencia e Tecnologia - Campus de Sao Jose dos Campos - UNESP, Prof. Dr. GERSON ARAÚJO DE MEDEIROS (Participação Virtual) do(a) ICT / UNESP/Sorocaba (SP), Prof.ª Dr.ª CLAUDIA COUTINHO NÓBREGA (Participação Virtual) do(a) Depto de Engenharia Civil e Ambiental / Universidade Federal da Paraíba, Dr. ALEX RODRIGUES NOGUEIRA (Participação Virtual) do(a) ACV Brasil Sustentabilidade Ltda.. Após a exposição pela doutoranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: aprovada . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Sandro Donnini Mancini:18321533809
Assinado de forma digital por Sandro Donnini Mancini:18321533809
Dados: 2023.08.22 14:39:40 -03'00'

Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Bauru

**PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO**

A COMISSÃO EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA: **ALLINE MARCHESIN COSTA**

DE: "AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DO SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM: UM ESTUDO DE CASO"

PARA:

_____

Bauru, 22 de agosto de 2023.

Sandro Donnini Mancini:18321533809 Assinado de forma digital por Sandro Donnini Mancini:18321533809 Dados: 2023.08.22 14:51:23 -03'00'

Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini
Orientador

Faculdade de Engenharia de Bauru – Pós-graduação
Av. Eng. Luiz Edmundo Carrijo Coube, 14-01 17033-360 Bauru - SP
tel. (14) 3103-6108 spg@feb.unesp.br www.feb.unesp.br

Dedico essa tese de doutorado a todos os trabalhadores e trabalhadoras do setor de reciclagem de resíduos sólidos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos trabalhadores do setor de reciclagem, à minha família e amigos, aos meus orientadores e mentores, à Universidade Estadual Paulista (UNESP) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida.

## Resumo

Um Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGIRSU) sustentável deve ser ambientalmente eficaz, economicamente acessível e socialmente aceito. O setor informal de reciclagem de resíduos sólidos apresenta um papel importante nos SGIRSU de países em desenvolvimento. Nesse estudo, realizou-se uma pesquisa exploratória para caracterizar e descrever o setor informal do município de Bauru, SP e utilizou-se o método de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) para avaliar os potenciais impactos desse setor, tendo como estudo de caso um comércio de recicláveis no município, incluindo seus trabalhadores e catadores informais. Os resultados do estudo mostraram a relevância da atuação do setor informal no município, com uma taxa de recuperação de materiais recicláveis que é o dobro do setor formal (0,88 e 0,46 kg/hab./mês, respectivamente). Os resultados da ASCV mostraram que, na vertente ambiental, o descarte irregular de rejeitos e a queima a céu aberto são os maiores contribuintes em todas as categorias de impacto analisadas. Quando se considera as emissões evitadas pela produção de matéria-prima recuperada, percebe-se que o sistema é capaz de compensar suas emissões e gera impacto positivo. No aspecto econômico o impacto é positivo, pois gera lucro mensal de R$ 648,51 por tonelada para os catadores informais e de R$ 219,60 para o comércio de recicláveis. Entretanto, com relação ao aspecto social o impacto é negativo para cinco das nove subcategorias avaliadas, evidenciando os potenciais impactos negativos da atividade para os trabalhadores. O estudo conclui que é importante a avaliação conjunta dos três pilares da sustentabilidade dos SGIRSU, pois são sistemas complexos que afetam e são diretamente afetados pelos três pilares e que a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida é uma ferramenta eficaz para mensurar os impactos ambientais, econômicos e sociais do setor informal de reciclagem e estabelecer pontos de atenção para potenciais impactos do setor.


**Palavras-chave**: Avaliação do ciclo de vida; avaliação social do ciclo de vida; custeio do ciclo de vida; sustentabilidade; catador.

## Abstract

Waste Management Systems (WMS) are complex and to achieve sustainability they must be environmentally effective, economically accessible and socially accepted. The informal sector of solid waste recycling plays an important role in Waste Management Systems in developing countries. In this study, exploratory and descriptive research was carried out to characterize and describe the informal sector in the municipality of Bauru, SP and the Life Cycle Sustainability Assessment (ASCV) method was used to evaluate the potential impacts of this sector, with the study case of a recyclables trade in the municipality, including its workers and informal collector. The results of the study showed the relevance of the informal sector's performance in the municipality, with a recovery rate of recyclable materials that is double that of the formal sector (0.88 and 0.46 kg/inhabitant/month, respectively). The ASCV results showed that, from an environmental perspective, irregular waste disposal and open burning are the biggest contributors in all impact categories analyzed. When considering the emissions avoided by the production of recovered raw materials, it is clear that the system is capable of offsetting its emissions and generates a positive impact. In the economic aspect, the impact is positive, as it generates a monthly profit of $127.64 (USD/2023) per ton for informal collectors and $43.22 (USD/2023)for the recyclable trade. However, in relation to the social aspect, the impact is negative for five of the nine subcategories evaluated, highlighting the potential negative impacts of the activity on workers. The study concludes that it is important to jointly assess the three pillars of SGIRSU sustainability, as they are complex systems that affect and are directly affected by the three pillars and that the Life Cycle Sustainability Assessment is an effective tool for measuring environmental impacts, economic and social aspects of the informal recycling sector and establish points of attention for potential impacts of the sector.



**Keywords**: Life cycle assessment; social life cycle assessment; life cycle costing; sustainability; scavenger.

# Índice de Figuras

Figura 1: Sistema de produto da ASCV ..... 53
Figura 2: Vista geral do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRISU) de Bauru, SP. ..... 72
Figura 3: Localização geográfica dos atores mapeados da cadeia da reciclagem de Bauru, SP. ..... 73
Figura 4: Porcentagens de materiais oriundas de cada tipo de fornecedor para o Intermediário 1 ..... 80
Figura 5: Representação gráfica dos resultados normalizados por categoria de impacto - modelo ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.06 / World (2010) H. ..... 87
Figura 6: Gráfico da contribuição das etapas de processos do sistema para cada categoria de impacto analisada. ..... 87
Figura 7: Avaliação de impactos com contabilização das emissões evitadas – resultados normalizados (modelo: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.06 / World ..... 88
Figura 8: Gráficos com os resultados normalizados dos cenários de eficiência da análise de sensibilidade ..... 91
Figura 9: Representação gráfica da pontuação da classificação final da avaliação de impacto social. ..... 99

# Índice de Tabelas

Tabela 1: Diferença entre os resíduos reciclados e coletados seletivamente (em toneladas) no Brasil. ..... 22
Tabela 2: Taxas de eficiência e substituição dos materiais recicláveis e nomes dos *datasets* utilizados para os materiais substituídos. ..... 58
Tabela 3: Categorias de impactos do Método ReciPe 2016, utilizadas no estudo e suas respectivas unidades e fatores de normalização. ..... 59
Tabela 4: Organizações consideradas no estudo ..... 61
Tabela 5: Detalhamento das partes interessadas selecionadas para o estudo. ..... 62
Tabela 6: Sistema de codificação e classificação do método SAM. ..... 63
Tabela 7: Descrição das subcategorias de impactos de acordo com UNEP-SETAC (2009 e 2013) e indicadores ..... 65
Tabela 8: Requisitos básicos e classificações da ACV-S ..... 67
Tabela 9: Análise da qualidade dos dados de inventário da ACV-S ..... 69
Tabela 10: Classificação e descrição dos atores atuantes na cadeia de reciclagem ..... 71
Tabela 11: Dados do relatório ASCAM sobre as quantidades de materiais recebidas e vendidas no mês de novembro de 2019. ..... 76
Tabela 12: Quantidades e tipo de materiais recicláveis comercializado pelos comércios de recicláveis e geração de rejeitos em um mês. ..... 78
Tabela 13: Tipos de materiais que cada intermediário trabalha ..... 79
Tabela 14: Quantidade de materiais recicláveis (em toneladas) vendidos pelos intermediários por mês. ..... 80
Tabela 15: Dados de massa recuperada dos setores formal e informal com relação à população dos municípios de atuação. ..... 81
Tabela 16: Preços dos materiais recicláveis no início e final da cadeia de valor em outubro de 2019 na cidade de Bauru. ..... 84
Tabela 17: Destino dos materiais comercializados ..... 85
Tabela 18: Inventário de entradas e saídas referente a cada processo elementar por unidade funcional. ..... 86
Tabela 19: Cenários de eficiência da análise de sensibilidade ..... 90

Tabela 20: Custo líquido (em R$) em cada processo elementar (valor mensal) e o custo final pela UF (t.RSU). ..... 92
Tabela 21: Horas trabalhadas e remuneração dos trabalhadores (dados mensais). ..... 94
Tabela 22: Evidências para a avaliação baseada no método SAM..... 98
Tabela 23: Classificação final da avaliação de impacto social. ..... 98
Tabela 24: Questionário estruturado para guiar as entrevistas com catadores informais e comerciantes de recicláveis. ..... 119
Tabela 25: Respostas dos questionários aplicados. ..... 120
Tabela 26: Lista de processos de inventários de dados secundários utilizados..... 121
Tabela 27: Resultados da Avaliação de Impacto - Normalização; modelo ReCiPe 2016 v1.1 midpoint, Hierarchist (H) ..... 122
Tabela 28: Resultados da Avaliação de Impacto - Caracterização; modelo ReCiPe 2016 v1.1 midpoint, Hierarchist (H) ..... 123
Tabela 29: Análise da contribuição dos processos do sistema nos impactos relativos à cada categoria avaliada. ..... 124
Tabela 30: Resultados normalizados da análise de sensibilidade..... 125

## Lista de Abreviaturas e Siglas

1,4-DCB - 1,4-diclorobenzeno

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

ACV-S - Avaliação do Ciclo de Vida Social

AICV - Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida

ASCAM - Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Bauru

ASCV - Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

AG - Aquecimento global

AT - Acidificação terrestre

CAPEX - Custos de capital e/ou de investimento

CCV - Custeio do Ciclo de Vida

$CH_4$ – Metano

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas

$CO_2$ - Dióxido de carbono

CRAS - Centro de Referência da Assistência Social

DAE - Departamento de Água e Esgoto de Bauru

DALY - Anos de vida ajustados por incapacidade

DBO - Demanda biológica de oxigênio

DQO - Demanda química de oxigênio

ED - Eutrofização de águas doces

EM - Eutrofização marinha

EPI - Equipamentos de Proteção Individual

EQ – Equivalente

EVA - Etileno-vinil-acetato

FMP - Formação de material particulado fino

GEE - Gases de efeito estufa

ICV - Inventário do Ciclo de Vida

IDHM - Índice de desenvolvimento humano municipal

IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MEI - Microempreendedor Individual

N - Nitrogênio

$N_2O$ - Óxido nitroso

OPEX - Custos operacionais

P - Fósforo

PE - Pessoa equivalente

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PET - Polietileno Tereftalato

PM2.5 – Material Particulado < 2.5 micrômetros

PP - Polipropileno

PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PS – Poliestireno

PVC - Policloreto de vinila

RAIS - Relação Anual de Informações Sociais

REEE - Resíduos eletroeletrônicos

RB - Requisitos básicos

RDO - Resíduos Domiciliares

RPU - Resíduos de limpeza pública

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SAM - Método de Avaliação de Subcategoria

SEBES- Secretaria de Bem-Estar Social

SEMMA - Secretaria de Municipal de Meio Ambiente de Bauru

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SGIRSU - Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

$SO_2$ – Dióxido de Enxofre

THNC - Toxicidade humana não-carcinogênica

TMB - Tratamento Mecânico Biológico

UF - Unidade funcional

UNEP-SETAC - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química

# SUMÁRIO

**RESUMO** ..... **8**

**ABSTRACT** ..... **9**

**ÍNDICE DE FIGURAS** ..... **10**

**ÍNDICE DE TABELAS** ..... **11**

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS** ..... **13**

**SUMÁRIO** ..... **15**

**1 INTRODUÇÃO** ..... **16**

**2 OBJETIVOS** ..... **18**

**3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** ..... **19**

3.1 O SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM ..... 20

3.2 A METODOLOGIA DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA ..... 28

3.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E O SETOR INFORMAL ..... 43

**4 MATERIAIS E MÉTODOS** ..... **49**

4.1 ESTUDO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO INTEGRADO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE BAURU, SP. ..... 49

4.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA ..... 51

4.3 MODELAGEM DO CICLO DE VIDA ..... 51

**5 RESULTADOS E DISCUSSÃO** ..... **70**

5.1 O GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS E O CONTEXTO DE ATUAÇÃO DO SETOR INFORMAL DE RECICLAGEM EM BAURU, SP. ..... 70

5.2 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA ..... 85

**6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES** ..... **103**

**7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... **106**

**8 APÊNCICES** ..... **119**

# 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como em diversos países em desenvolvimento, o setor informal de reciclagem atua no Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGIRSU) dos municípios em paralelo ao setor formalizado (MORAIS *et al.*, 2018; LIMA *et al.* 2018; FERRONATO; TORRETTA, 2019). Existem diversos estudos que apontam para uma contribuição relevante do volume de resíduos recicláveis coletados pelo setor informal (MAJEED *et al.*, 2017; LIMA *et al*. 2018; FERRONATO *et al*., 2020) e sua contribuição socioeconômica e ambiental (MAJEED *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2021). Apesar dessa possível contribuição positiva, seus trabalhadores são alvos de discriminação e condições de trabalho e socioeconômicas precárias, além do risco de poluição ambiental (FEI *et al.*, 2016; YANG *et al*., 2018).

O uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliação de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos está cada vez mais difundido e recomendado (CHRISTENSEN *et al.*, 2020), mas são raros os estudos que incluem o papel dos atores informais. Ferronato *et al.* (2021) apontam que a reciclagem informal e o despejo a céu aberto devem ser avaliados em pesquisas futuras dentro de uma ACV. Laurent *et al.* (2014a) citaram que, dentre os desafios a serem enfrentados pela comunidade científica e profissionais da área de ACV no tema resíduos sólidos, está a avaliação ambiental do setor informal de resíduos e que é importante que os estudos de ACV de países em desenvolvimento considerem a realidade local, como os impactos da coleta e reciclagem informal na saúde ocupacional (LAURENT *et al.*, 2014a).

Estudos bibliográficos mais recentes sobre a aplicação da ACV na gestão de resíduos sólidos, como: Khandelwal *et al.* (2019), Iqbal *et al.*, 2020, Zhang *et al.* (2021) e Mulya *et al.* (2022) não demonstram evolução na inclusão do setor informal de reciclagem nos estudos de ACV. O estudo mais recente de Mulya *et al.* (2022) revisou 240 artigos de 2009 a 2020 e mostrou que nos últimos anos a quantidade de estudos de ACV aplicados à gestão de resíduos sólidos em países em desenvolvimento aumentou significativamente, porém os países desenvolvidos ainda representam 64,9% de todos os estudos na área. O Brasil representa apenas 4,82% estudos (MULYA *et al.*, 2022). Dentre os tipos de resíduos avaliados nos estudos, 187 tiveram como foco os RSU de forma geral ou a fração orgânica dos resíduos. Dos estudos de ACV sobre SGIRSU que incluíram a reciclagem em seu escopo, a maior parte são de países desenvolvidos.

Lima *et al.* (2018), afirmam que o setor informal de reciclagem desempenha um papel importante do SGIRSU no Brasil e que não o considerar dentro do escopo dos estudos de ACV limita a precisão dos resultados. Além disso, a maioria dos estudos de ACV da gestão de resíduos avalia apenas os impactos ambientais, apesar de os aspectos econômicos e sociais terem influência nos SGIRSU (KHANDELWAL *et al.,* 2019; IQBAL *et al.,* 2020). Em revisões de estudos de ACV de 2013 a 2018 é apontada a falta pesquisas que considerem as vertentes econômicas e sociais, além da ambiental (KHANDELWAL *et al.,* 2019; IQBAL *et al.,* 2020). Dentro desta perspectiva, é recomendado avaliar a sustentabilidade do setor informal e não apenas a vertente ambiental.

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) é uma ferramenta que visa englobar impactos ambientais, sociais e econômicos do ciclo de vida dos produtos/serviços. Sua aplicação para o gerenciamento de resíduos é recomendada, pois a gestão de resíduos sólidos engloba fortemente os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e econômico). Porém, ela ainda está em desenvolvimento e necessita de avanços metodológicos (TIAN *et al*., 2020).

Tais constatações demonstram a relevância do estudo apresentado nesta Tese, que busca atuar nas seguintes lacunas do conhecimento:

- Lacuna 1 – o setor informal é pouco estudado dentro da perspectiva da sustentabilidade do ciclo de vida, inclusive no Brasil.
- Lacuna 2 – A ASCV é um método em desenvolvimento e sua aplicação no setor informal pode trazer *insights* para o seu desenvolvimento e aplicação no setor.
- Lacuna 3 – As políticas públicas de gestão de resíduos geralmente não incluem o setor informal e essa pesquisa pode trazer orientações para os tomadores de decisões.

Assim, esta tese de doutorado visa investigar acerca da seguinte hipótese: A metodologia ASCV permite mensurar os impactos ambientais, sociais e econômicos gerados pelo setor informal de reciclagem. E responder à seguinte pergunta: Quais são os potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos do setor informal de reciclagem?

Este estudo irá contribuir para avançar nas seguintes áreas do conhecimento: (a) levantamento de informações quanti e qualitativas sobre o setor informal de reciclagem de resíduos sólidos; (b) adaptação de um método de ASCV para aplicação no setor

informal; (c) avaliação dos potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos do setor informal de reciclagem (d) recomendações para os elaboradores de políticas públicas.

Como resultados, essa tese apresenta: (a) dados inéditos sobre o setor informal; (b) um método para aplicar a ASCV no setor informal e, assim, estudos futuros de ACV em gestão de resíduos podem utilizá-lo para incluir a avaliação do setor informal; (c); *insights* e recomendações da formulação de políticas públicas.

# 2 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é identificar e mensurar, por meio da Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida, os potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos do setor informal de reciclagem de resíduos. Para tanto, foi utilizado como estudo de caso um comércio informal de reciclagem no Município de Bauru, São Paulo, Brasil. Outros objetivos específicos, são:

a. Compreender o funcionamento do setor informal de reciclagem e sua relação com o setor formal.
b. Adaptar e testar um método de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) para avaliar os potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais do setor informal de reciclagem.
c. Avaliar os potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais da coleta, processamento e comercialização de materiais recicláveis em um comércio de recicláveis em Bauru, São Paulo, Brasil.
d. Propor recomendações para formulação de políticas públicas.

# 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão do estado da arte referente às três lacunas de pesquisa abordadas nessa tese e está dividido em 3 subtítulos principais que visam embasar a necessidade de estudos sobre as lacunas apresentadas acima, são eles:

**3.1 O setor informal de reciclagem** : este tópico visa explorar o papel do setor informal de reciclagem dentro da gestão de resíduos, detalhar suas características no Brasil e no Mundo, explorar quais são seus possíveis impactos positivos e negativos e demonstrar sua relevância na gestão de resíduos.

**3.2 A metodologia da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida:** este tópico visa explorar e detalhar a metodologia de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida.

**3.3 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida da Gestão de Resíduos Sólidos:** este tópico visa apresentar um panorama de como a ACV e a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida vêm sendo aplicadas nos estudos sobre a gestão de resíduos sólidos e demonstrar a carência de estudos que considerem as vertentes social e econômica e o setor informal.

## 3.1 O setor informal de reciclagem

A reciclagem é um processo que transforma os resíduos sólidos em insumos ou novos produtos alterando suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas (BRASIL, 2010). Ela permite que os resíduos sejam beneficiados e reaproveitados no seu próprio ciclo produtivo ou para outros fins (ABRELPE, 2015b; EUROPEAN COMMISSION, 2011). Internacionalmente, o termo reciclagem inclui o reprocessamento de material orgânico (EUROPEAN COMMISSION, 2011). Porém, no Brasil, costuma-se usar o termo reciclagem apenas para o reprocessamento de resíduos sólidos secos (como: papel, papelão, plástico, vidro e metais) e o termo compostagem para o reprocessamento de resíduos sólidos orgânicos. Essa diferenciação na terminologia é a adotada por este estudo.

Existem duas forças que impulsionam para que a reciclagem ocorra. Essas forças são diferentes para países em desenvolvimento e desenvolvidos. A primeira é a do valor econômico dos materiais como matéria-prima (*comodity*), essa força prevalece nos países em desenvolvimento e movimenta o setor privado e informal de reciclagem. A outra é o valor de "serviço", ou seja, o valor gerado pela economia no gerenciamento de resíduos, por desviar resíduos desse fluxo. Essa força, em conjunto com preocupações ambientais e de escassez dos recursos naturais e matérias primas, impulsionam os programas de reciclagem em países desenvolvidos (VERGARA e TCHOBANOGLOUS, 2012).

Sob essa perspectiva, é possível distinguir a cadeia de suprimentos da indústria de reciclagem em duas partes: aquela que envolve a cadeia de valor, onde o material reciclável se torna matéria-prima em uma cadeia produtiva e a cadeia de serviços, da qual a cadeia de valor depende, formada pelos fluxos e processos que tornam o resíduo disponível como recurso para a indústria (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017).

A cadeia de serviços está dentro de um sistema de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos municipal, que busca a integração de diversos atores (público, privado e terceiro setor) de forma a estabelecer, implementar, administrar e aprimorar a gestão dos resíduos sólidos levando em conta as características de cada comunidade (IBAM, 2007). A reciclagem faz parte da etapa de recuperação de resíduos. Denomina-se processo de reciclagem o encadeamento de ações executadas dentro da coleta seletiva, triagem, limpeza e prensagem ou enfardamento e transporte dos resíduos e reprocessamento pela indústria da transformação (IPEA, 2017).

Na gestão de resíduos sólidos em todo o mundo, a reciclagem deve ser priorizada após a não geração de resíduos, redução na fonte e reutilização (CAMPOS, 2014). Na Europa, essa hierarquia de prioridades foi definida pela Diretiva "*Waste Framework Directive - WFD* 2008/98/EC". No Brasil, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos - Lei nº 12.305 de 2010 (Brasil, 2010).

Na prática, a reciclagem de boa parte dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em diversos países em desenvolvimento é deficitária, ineficiente e opera abaixo do ideal (WILSON *et al.*, 2006; FERRONATO e TORRETTA, 2019). As estimativas sobre a composição dos resíduos brasileiros apontam que entre 30% e 40% dos RSU são resíduos secos com potencial de reciclagem (IPEA, 2017). Porém, apenas cerca de 5,4% desses potencialmente recicláveis são recuperados (BRASIL, 2019b). Diante desse cenário, é comum em países em desenvolvimento como o Brasil que a gestão informal de resíduos preencha essa lacuna deixada pelas administrações públicas municipais, que muitas vezes não possuem o quadro legal, capacidade e/ou recursos para instituir um sistema formal de coleta e tratamento de resíduos (WORRELL e REUTER, 2014).

Para que os resíduos sejam reciclados, primeiro eles devem ser coletados seletivamente, por isso os níveis de reciclagem estão atrelados à adequada separação dos resíduos na fonte (FEHR e SANTOS, 2013). Sabe-se que os programas de coleta seletiva no país são insuficientes e ineficientes (IPEA, 2017).

Dados de 2020, da pesquisa diagnóstico, publicada anualmente pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, mostra que 1.664 municípios brasileiros (36,3% dos respondentes) realizam alguma ação de coleta seletiva. Sendo realizada predominantemente pelo sistema porta a porta (em 1.429 municípios), isso representa uma cobertura de 39,1% da população urbana dos municípios que participaram da pesquisa (BRASIL, 2021). Em 2020 foram coletadas seletivamente pelo setor formal, 1,9 milhão de toneladas resíduos recicláveis, o que equivale a 15,3 kg/hab./ano (BRASIL, 2021). Tais dados não contabilizam a coleta seletiva executada por empresas, sucateiros e catadores autônomos, que normalmente não têm nenhuma vinculação com as Prefeituras Municipais (BRASIL, 2021).

Embora os valores de coleta seletiva e recuperação de resíduos relatados pelas municipalidades sejam baixos, os índices de reciclagem de diversos materiais no Brasil são comparáveis às taxas obtidas por países desenvolvidos (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017). O Brasil está entre os dez maiores países recicladores de papel do mundo (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017). O índice de reciclagem do papel e papelão é de

68% (ANAP, 2019), valores comparáveis aos índices de reciclagem de embalagens de papel e papelão de Portugal (66,9%) (EUROSTAT, 2019). O índice brasileiro de reciclagem do plástico é de 25,8% (ABIPLAST, 2019), valores comparáveis aos índices de reciclagem de embalagens plásticas na França (26,5%) (EUROSTAT, 2019). Sobre o alumínio, o país é historicamente reconhecido pelos altos índices de reciclagem de latas de alumínio (cerca de 97%) (CHAGAS e NETO, 2012; BRASIL, 2022).

Em uma comparação entre os dados sobre as quantidades de resíduos coletados seletivamente pelos municípios divulgados pelo Governo Federal e dados de reciclagem divulgados pelas associações representativas dos setores da indústria, percebe-se que há uma diferença de 5 a 6 vezes a mais de massa reciclada do que coletada (Tabela 1).

Tabela 1: Diferença entre os resíduos reciclados e coletados seletivamente (em toneladas) no Brasil.

| Ano | Massa coletada seletivamente | Massa reciclada | Diferença entre massa reciclada e coletada |
|---|---|---|---|
| 2015 | 1.759.909 | 7.223.500 | 5.463.591 |
| 2016 | 1.436.509 | 7.218.500 | 5.781.991 |
| 2017 | 1.485.287 | 7.422.500 | 5.937.213 |

Fonte: Elaborado pela autora baseado em ABREAÇO (2010); Chagas e Neto (2012); Tetrapak (2013); ABRELPE (2014; 2015a); BRASIL (2018); IBÁ (2015); ABIPET (2015); ABAL (2017; 2018); ABIPLAST (2018); ANAP (2018); Carvelhes (2018); CEMPRE, (2022); IBGE (2015).

Não é possível afirmar que essa diferença de massa entre as quantidades de resíduos coletados seletivamente e reciclados pelas indústrias é devida exclusivamente à atuação do setor informal, pois as metodologias de cálculo das taxas de reciclagem da indústria não são divulgadas e os dados apresentados carecem de transparência. Entretanto, esses dados apresentados indicam para uma corroboração das afirmações feitas na literatura sobre a forte atuação do setor informal de reciclagem na recuperação dos materiais recicláveis no Brasil, como por exemplo os autores transcritos abaixo:

- “Os catadores e comerciantes intermediários fazem a conexão entre a fonte geradora de resíduos e as empresas recicladoras” (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017).
- “A coleta informal de resíduos é a principal atividade que desvia os resíduos domésticos municipais da disposição final” (FEHR, 2014).
- “Os catadores autônomos são a base da indústria de reciclagem e que esse fato determina a alta taxa de recuperação de alguns resíduos como o alumínio” (CAMPOS, 2014).

Outros autores reconhecidos internacionalmente fazem as mesmas afirmações para países em desenvolvimento, como Scheinberg *et al.* (2010), que apontavam que "O setor informal de catadores ("*waste pickers*") e recicladores eram responsáveis pela maior parte dos resíduos reciclados em cidades em desenvolvimento"; e Medina (2010), quando afirma que "Os catadores abasteciam a indústria com matéria-prima, portanto, têm fortes vínculos com o setor formal e em alguns casos esses vínculos existem há séculos".

### 3.1.1 O setor informal de reciclagem no Brasil e no Mundo

Os resíduos recicláveis são comercializados como matéria-prima, por isso possuem uma cadeia de suprimentos como qualquer outro produto. Cadeia de suprimentos é um sistema de organizações, pessoas, atividades, informações e recursos envolvidos na movimentação de um produto ou serviço do fornecedor para o cliente. Na cadeia suprimentos da reciclagem o setor formal e informal estão conectados e realizam operações comerciais (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017). No caso da reciclagem, esse sistema também é denominado como cadeia de valor, pois em cada nível da cadeia é agregado mais valor ao produto. Nos países em desenvolvimento, as atividades de valorização de resíduos também são realizadas por cadeias informais de reciclagem (JALIGOT *et al.*, 2016).

O setor informal de reciclagem compreende indivíduos, empresas ou organizações envolvidas com atividades nas etapas de reciclagem que não são apoiados ou reconhecidos pelas autoridades responsáveis pela gestão de resíduos ou que operam violando ou em concorrência com as autoridades formais. Enquanto que o setor formal de reciclagem compreende indivíduos, empresas ou instituições públicas e privadas envolvidas nas etapas de reciclagem de resíduos sólidos que são reconhecidas ou apoiadas pelas autoridades responsáveis pela gestão de resíduos (SCHEINBERG *et al.*, 2010).

Os principais atores envolvidos na cadeia de valor da reciclagem no Brasil, são: a) os catadores e suas organizações de apoio; b) a indústria (privada e pública) de coleta e destinação de resíduos; c) os comerciantes intermediários do material coletado; d) a indústria recicladora e transformadora; e) o Estado, com a regulação e as políticas públicas que afetam o setor produtivo e os catadores (IPEA, 2017). O topo da hierarquia é ocupado por um reduzido número de indústrias recicladoras que realizam atividades de pré-beneficiamento, beneficiamento e a transformação dos recicláveis em novos produtos; abaixo delas encontram-se os agentes intermediários, que organizam toda a infraestrutura necessária para

a compra dos materiais que são separados e oferecidos em grandes volumes às indústrias recicladoras; já os catadores que são os atores que compõe a maior parte da base da pirâmide, realizam a coleta, separação, transporte, acondicionamento e, às vezes, o beneficiamento do material que será vendido para reutilização ou reciclagem possui (WILSON *et al.,* 2006; IPEA, 2017).

Essa estrutura é encontrada em diversos países em desenvolvimento. Geralmente esses países passaram por uma rápida urbanização, o que ocasionou uma lacuna na prestação de serviços públicos de gerenciamento de resíduos sólidos devido à carência de quadro legal, capacidade e/ou recursos financeiros, técnicos e de governança das administrações públicas municipais para instituir um sistema formal equitativo e eficiente de coleta e tratamento de resíduos. Dessa forma os atores informais de gerenciamento de resíduos sólidos preenchem essa lacuna deixada pelas administrações municipais (VERGARA e TCHOBANOGLOUS, 2012; WORRELL e REUTER, 2014; DIAS, 2016).

O sistema informal de reciclagem nos países em desenvolvimento é autossuficiente e movimentado por indivíduos e famílias que não são regulamentados, que fornecem resíduos recuperados como matéria-prima secundária para mercados estabelecidos localmente ou para exportação (AGAMUTHU, 2010; EZEAH *et al.,* 2013). Em alguns países, o setor informal também realizava a coleta dos resíduos orgânicos, como em Cairo (Egito), Lima (Peru) e Quezon (Filipinas), onde esses resíduos eram recuperados para alimentação animal (SCHEINBERG *et al.,* 2010). Nos locais onde não existia coleta formal de resíduos, o setor informal realizava esse serviço e cobrava uma taxa dos moradores. Um exemplo é o Cairo, onde 74,3% dos resíduos gerados eram coletados pelos catadores chamados de "*Zabaleens"* (WILSON *et al.,* 2009).

São encontradas na literatura diversas categorias de catadores informais que possuem suas peculiaridades e variam conforme o país em que são encontrados (WILSON *et al.,* 2006). A publicação de Ezeah *et al.* (2013), que reúne estudos de diversos autores no Egito, China, Índia, América do Sul e África do Sul, cita a existência de pelo menos 6 categorias:

- Coletor de resíduos domésticos - *"household waste collector":* individualmente ou em grupos fornece, diretamente, os serviços de coleta de resíduos domésticos misturados, cobram taxa pelo serviço, mas principalmente vendem os resíduos com algum valor após separação (EZEAH, *et al.,* 2013).
- Os catadores de rua – *"street pickers":* suas atividades diferem de país para país, porém as características predominantes são que eles coletam materiais que já foram

descartados e estão misturados com outros resíduos nas ruas, muitas vezes aguardando pela coleta formalizada (SCHEINBERG *et al.*, 2010; EZEAH, *et al.*, 2013; WILSON *et al.*, 2006; APARCANA, 2017).

- Compradores de resíduos itinerantes – *"itinerant waste buyers":* normalmente indivíduos que vão de porta em porta para coletar ou comprar materiais recicláveis e, outros itens que as pessoas consideram sem valor (EZEAH, *et al.,* 2013).
- Equipe de coleta de resíduos municipal – *"municipal waste collection crew"*: coletam os resíduos dos veículos que os transportam para os locais de disposição (EZEAH, *et al.*, 2013).
- Catadores de lixões – *"Dumpsite pickers":* recolhem os resíduos recicláveis em lixões, normalmente quando estão sendo descarregados pelos caminhões de coleta (EZEAH, *et al.*, 2013).
- Os comerciantes intermediários - *"intermediate dealers":* compram os materiais recicláveis de catadores independentes, de cooperativas, de outros geradores de resíduos ou do público em geral e os revendem para o próximo elo da cadeia. Compreende comerciantes que podem ser revendedores primários ou secundários, operando tanto nos setores formal e informal (WILSON *et al.*, 2006).

Uma das características do setor informal é a falta de controle formal e rotineiro de seu desempenho, pois os atores informais não têm obrigações, capacidade ou não acreditam ter motivos para manter registros de suas atividades (LINZNER e LANGE, 2013; WILSON *et al.*, 2009). Assim, dados quantitativos sobre a reciclagem informal são escassos e pouco confiáveis (WILSON *et al.*, 2009).

Linzner e Lange (2013) compilaram diversos estudos pelo mundo que apresentam dados do setor informal. Segundo seus cálculos, existiam de 12,5 a 56 milhões de trabalhadores no setor informal de gestão de resíduos no mundo. E, segundo os mesmos autores, em média, cerca de 0,6% da população urbana de um País era composta por esses trabalhadores informais. Outros dados da literatura variam de 0,5% (WILSON *et al.,* 2012) a 2% (MEDINA, 2000) da população. A maior parte se concentra na China, Índia e Brasil (LINZNER; LANGE, 2013; MEDINA, 2008). A China possuía cerca de 6 milhões, a Índia cerca de 1 milhão (AGAMUTHU, 2010; MEDINA, 2008) e o Brasil apresentava cerca de 600 mil trabalhadores informais na área de coleta, reciclagem e manuseio de recicláveis (CAMPOS, 2014). Para a cidade de São Paulo, estima-se que existiam 10.000 catadores informais (SÃO PAULO, 2013).

A quantidade de catadores em um país varia conforme o crescimento da população e suas condições econômicas. Se há uma forte crise econômica, por exemplo, a tendência é que o número de catadores aumente (SCHEINBERG, 2006). Já a quantidade em massa de resíduos coletados pelo setor informal varia localmente, cada cidade/país tem seu próprio sistema (VERGARA e TCHOBANOGLOUS, 2012; WILSON *et al.*, 2009), variando de 20% a 50%, se comparando a países da Europa e América do Norte (WILSON *et al.*, 2009).

### 3.1.2 Os impactos da reciclagem e do setor informal

A reciclagem de resíduos gera benefícios ambientais, sociais e econômicos (MEDINA, 2010). A reciclagem permite a economia de recursos naturais gerados pela diminuição da extração de matéria-prima, água e energia para a produção de produtos a partir de matéria-prima secundária (AGAMUTHU, 2010; VERGARA e TCHOBANOGLOUS, 2012). E diminui a emissão de dióxido de carbono ($CO_2$) (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017; PAES 2020b).

Ela desvia parte dos resíduos da disposição em aterros sanitários, diminuindo a necessidade de novas áreas e investimentos para construção e aumentando a vida útil daqueles já existentes (AGAMUTHU, 2010).

O Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada – IPEA (2010) apontou que o Brasil perdia R$ 8 bilhões de reais por ano ao encaminhar para aterros e lixões, resíduos que poderiam ser reciclados. Em Bangcoc, Jacarta, Kanpur, Karachi e Manila, o trabalho de catadores economiza por ano, em média, pelo menos 23 milhões de dólares (em cada cidade). Em Nuevo Laredo no México esse valor era de 500 mil dólares por mês (MEDINA, 2010).

A reciclagem também alimenta a indústria com matéria-prima secundária mais barata do que a matéria-prima virgem e diminui a necessidade de água e energia para a produção, o que reduz os custos da indústria e tornam a economia mais competitiva (AGAMUTHU, 2010; MEDINA, 2010).

Os benefícios da reciclagem podem variar localmente (VERGARA; TCHOBANOGLOUS, 2012). Como em países em desenvolvimento, onde é realizada pelo setor informal, além dos benefícios da reciclagem citados acima, atividade de coleta e venda de recicláveis é um meio de subsistência para milhões de pessoas vulneráveis e contribui para a redução da pobreza (ANSCHÜTZ *et al.*, 2004; GUPTA, 2010; VERGARA; TCHOBANOGLOUS, 2012).

Além disso, o setor informal gera economia para os municípios diminuindo a quantidade de resíduos que precisaram ser coletados, transportados e destinados corretamente. E podem contribuir para que os municípios alcancem metas de reciclagem (AGAMUTHU, 2010; MEDINA, 2010).

Apesar dos benefícios que a reciclagem proporciona para o meio ambiente e para sociedade, ela também gera impactos negativos, principalmente quando executada pelo setor informal, mas não exclusivamente, pois os mesmos problemas podem ser encontrados em cooperativas e associações de catadores formalizadas. O setor é alvo de preocupações devido às más condições de trabalho, exploração, discriminação, rejeição social e baixo nível educacional (APARCANA, 2017).

O ônus da atividade é sofrido principalmente pelos próprios trabalhadores, pois seu trabalho é caracterizado como intensivo, de baixa tecnologia, pouco remunerado, não registrado e não regulamentado (WILSON *et al.,* 2006). Esses trabalhadores se sujeitam a tais condições, pois dependem da atividade para seu sustento (APARCANA, 2017). Em muitas cidades pelo mundo a atividade é exercida por crianças (AGAMUTHU, 2010; MEDINA, 2010).

O ambiente de trabalho da maioria dos trabalhadores do setor informal é a rua e em muitas cidades os lixões, onde eles podem estar em contato diário com todos os tipos de resíduos, incluindo resíduos perigosos e resíduos de saúde (COINTREAU, 2006). Existem também riscos de saúde e segurança associados à atividade reciclagem informal devido ao processo rudimentar empregado para coletar e processar os resíduos. Os trabalhadores ficam constantemente expostos às várias ameaças à saúde, incluindo lesões e doenças (AGAMUTHU, 2010; WORRELL e REUTER, 2014).

Os empreendedores ou empresas envolvidas no setor informal geralmente não são registrados formalmente, não possuem licença de funcionamento, não pagam impostos, e não estão incluídos nos esquemas de assistência social ou de seguro do governo (AGAMUTHU, 2010).

Outro problema identificado é a competição por material que ocorre entre o setor informal e o formal, quando os dois coexistem em um município (RANCURA, 2005; SCHEINBERG, 2012). Há casos em que os catadores coletam materiais recicláveis antes da coleta seletiva formal, como constatado em São Carlos – SP por Rancura (2005).

Há também o risco de poluição ambiental (FEI *et al.*, 2016). Como o setor informal atua à margem da sociedade, muitas vezes não sentem a obrigação de lidar com os resíduos não recicláveis e os rejeitos de uma maneira ambientalmente adequada e o material

descartado acaba em locais irregulares (como rios e córregos) ou até mesmo queimado (AGAMUTHU, 2010).

## 3.2 A metodologia da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) é considerada um método ainda em desenvolvimento. O termo *"life cycle sustainability assessment – LCSA*" ou "Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida – ASCV" foi usado pela primeira vez em 2007 (COSTA *et al.,* 2019). O número de artigos científicos sobre ASCV vêm aumentando consideravelmente graças aos esforços da comunidade científica para tornar o método mais aplicável e padronizado (COSTA *et al.,* 2019; VISENTIN *et al.,* 2020). A partir de 2015 houve um crescimento exponencial no número de artigos publicados na área, com destaque para o aumento de estudos de casos (COSTA *et al.,* 2019; VISENTIN *et al.,* 2020).

A tendência atual é buscar uma avaliação completa dos bens e serviços no contexto do desenvolvimento sustentável. A combinação do Pensamento do Ciclo de Vida (em inglês: *"Life Cycle Thinking"*) com os três pilares do desenvolvimento sustentável (econômico, ambiental e social), visa obter essa visão global dos impactos associados aos bens e serviços (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Dentre as ferramentas para avaliação ambiental e de sustentabilidade existentes, a ASCV fornece uma compreensão mais holística, pois abrange aspectos ambientais, econômicos e sociais de todo o ciclo de vida dos produtos e/ou serviços (COSTA *et al.,* 2019; UNEP-SETAC, 2011). A aplicação do pensamento do ciclo de vida ou "*life cycle thinking"* aos pilares da sustentabilidade oferece uma maneira de incorporar o desenvolvimento sustentável nos processos de tomada de decisão (UNEP-SETAC, 2011).

O desenvolvimento de um estudo de Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida deve seguir as normas padronizadas existentes para Avaliação do Ciclo de Vida, as ABNT NBR ISO 14040 e 14044. Dessa forma deve seguir as seguintes fases as quais são iterativas, isso quer dizer que elas são revistas e adequadas conforme surjam novas constatações nas fases subsequentes:

(I) **Definição do objetivo e escopo**:

a. No objetivo devem estar declarados a aplicação pretendida para o estudo, as razões para sua execução, o público-alvo e se existe a intenção de divulgar os resultados publicamente (ABNT, 2014a).
b. No escopo, o sistema do produto estudado é identificado e definido em detalhes, contendo sua função, unidade funcional e fluxo de referência e os limites do sistema. Além disso, são estabelecidos os requisitos metodológicos, de qualidade dos dados, relatórios e necessidade de revisão do estudo de acordo com os aspectos definidos no objetivo (EUROPEAN COMMISSION, 2010; ABNT, 2014b).

(II) **Análise de inventário do ciclo de vida** (**ICV):** que implica na construção do modelo do ciclo de vida, onde são calculadas as entradas e saídas produzidas e utilizadas durante seu processo (ABNT, 2014b).

(III) **Avaliação de impacto do ciclo de vida** (**AICV)**: que compreende a análise dos resultados do inventário associando-os a determinadas categorias de impactos especificas (ABNT, 2014b).

(IV) **Interpretação dos resultados**: onde as constatações do inventário e da avaliação do impacto são consideradas em conjunto.

Existem diversas metodologias propostas para o desenvolvimento da ASCV. Costa *et al.* (2019) revisam 144 artigos publicados até o final de 2018 e identificaram que a ASCV como "soma" é a abordagem mais utilizada (adotada por 83 dos artigos estudados). Isso se dá por sua facilidade de aplicação, já que se baseia em metodologias já desenvolvidas e empregadas individualmente (COSTA *et al.*, 2019).

A metodologia a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida – ASCV, como uma soma das outras vertentes da ACV foi desenvolvida por Kloepffer (2008) e, posteriormente, atualizada por UNEP-SETAC (2011). É a soma teórica, ou seja, a combinação da ACV-ambiental, do Custeio do Ciclo de Vida (CCV) e da Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S), empregadas em separado, para avaliar as três dimensões da sustentabilidade de produtos e/ou serviços (KLOEPFFER, 2008; UNEP-SETAC, 2011).

$$ASCV = ACV + CCV + ACV\text{-}S \quad \text{(Equação 1)}$$

*Onde:*

ASCV: Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida;

ACV: Avalição do Ciclo de Vida – Ambiental;

CCV: Custeio do Ciclo de Vida

ACV-S: Avaliação do Ciclo de Vida Social.

De acordo com essa abordagem, os três métodos de avaliação (ACV, CCV e ACV-S) são aplicados separadamente baseados em suas metodologias próprias. O objetivo geral de uma ASCV é fornecer uma avaliação combinada de um sistema de produto, sendo que seus resultados mostrarão não apenas os impactos negativos, como também os benefícios (UNEP-SETAC, 2011).

Com o desenvolvimento da metodologia social, juntamente com o CCV e a ACV - ambiental mais estabelecidos, surgiram as primeiras aplicações da estrutura da ASCV elaborada por Kloepffer (2008) nos estudos de Ciroth e Franze (2011), Franze e Ciroth (2011) e Valdivia *et al.* (2011). A ASCV é uma abordagem promissora para desenvolver uma avaliação robusta, transparente e abrangente (SALA *et al.*, 2013).

A ACV - ambiental, o CCV e a ACV-S têm propósitos diferentes e isso deve estar claro ao se trabalhar em direção a uma combinação das três abordagens. Porém, é recomentado que na ASCV o objetivo e o escopo das três abordagens sejam comuns, mas levando em consideração as diferenças que existem entre elas (UNEP-SETAC, 2011). É importante delinear o objetivo e o escopo do estudo para definir o propósito da ASCV e garantir que o estudo alcance sua aplicação final (APARCANA; SALHOFER, 2013a; UNEP-SETAC, 2009), que pode ser a comparação de produtos, processos de produção ou empresas e a identificação do potencial de melhoria de produtos ou processos (APARCANA; SALHOFER, 2013a).

Na concepção de Kloepffer (2008) há alguns pré-requisitos para a utilização desta abordagem e os mais importantes referem-se aos limites do sistema das três avaliações e ao Inventário do Ciclo de Vida (ICV) que devem ser idênticas para as três vertentes de análise. O guia da UNEP-SETAC (2011) reitera que se deve manter os mesmos limites do sistema, mas a flexibiliza quando orienta que os limites do sistema dos três métodos devem incluir todos os processos que sejam relevantes para pelo menos uma das abordagens da ASCV e quando algum estágio ou processos unitários não forem incluídos no limite do sistema, o motivo da exclusão deve ser apontado (UNEP-SETAC, 2011).

Na prática, percebe-se que a inexistência de dados e/ou dificuldade de obtenção de dados para as três vertentes dentro de um escopo comum é um desafio que pode ocasionar a simplificação das fronteiras do sistema e negligenciar importantes impactos em uma das esferas. Assim, alguns autores mais recentes, aplicam ASCV flexibilizando a fronteira do sistema para que ela se adapte às características e necessidades do estudo no caso específico, como Zheng *et al.* (2019) e UNEP-SETAC (2011). Essa pequena diferença nos limites dos sistemas pode ser explicada pela diferença existente entre as unidades de processos das três dimensões da sustentabilidade, pois os impactos ambientais são avaliados pelas trocas com o meio ambiente enquanto que os impactos sociais são avaliados através do comportamento de gestão das empresas (Zheng *et al.*, 2019).

Hunkeler; Lichtenvort; Rebitzer (2008) e Ciroth; Hildenbrand; Steen (2015) adotam o conceito de fronteiras do sistema equivalentes e não necessariamente idênticas para os estudos de CCV desenvolvidos paralelamente a uma ACV-ambiental. Se uma processo elementar for importante para o CCV, mas não for relevante para ACV-ambiental pode ser desconsiderado na ACV-ambiental, mas os custos são considerados no CCV (HUNKELER *et al.*, 2008).

Kloepffer (2008), também não recomenda a ponderação dos resultados dos três pilares em um único indicador de sustentabilidade, pois isso pode aumentar o grau de incertezas na análise. Entretanto, a maioria dos estudos de ASCV existentes fazem essa junção (COSTA *et al.*, 2019; VISENTIN *et al.*, 2020). E os métodos mais utilizados para isso são as análises multicritério, principalmente o método de Análise Hierárquica (AHP - Analytic Hierarchy Process) (COSTA *et al.*, 2019; VISENTIN *et al.*, 2020).

Os resultados das três aplicações da ACV devem ser interpretados de maneira combinada, no contexto do objetivo e escopo definidos para a ASCV. É importante que na avaliação e interpretação dos resultados a qualidade dos dados seja levada em consideração, com relação às suas características e capacidade de atender aos requisitos declarados (UNEP-SETAC, 2011).

Interpretar os resultados de maneira combinada e apresentar de forma clara os resultados ASCV de maneira que possam ser comparados produtos e/ou serviços similares e utilizados para apoiar os processos de tomada de decisão é um desafio (UNEP-SETAC, 2011). Os resultados da avaliação poderão ajudar a esclarecer: se existem compensações entre os benefícios econômicos e os encargos ambientais ou sociais; quais estágios do ciclo de vida e subcategorias de impacto são mais críticos; e se o produto é socialmente, economicamente e ambientalmente amigável (UNEP-SETAC, 2011).

### 3.2.1 Avaliação do Ciclo de Vida – ambiental

A ACV-ambiental é a mais difundida e aplicada das três vertentes da sustentabilidade. Ela vem sendo utilizada, desenvolvida e aprimorada por mais de 30 anos (SALA *et al.,* 2013). Consiste em uma ferramenta de avaliação do desempenho de um produto ou serviço durante todo seu ciclo de vida, por meio da avaliação dos aspectos e possíveis impactos ambientais (ABNT, 2014a, 2014b).

Sua utilização para avaliar o desempenho ambiental de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos iniciou-se em 1990 e ganhou força a partir de 2010, sendo bem aceita pelos estudiosos do mundo (CHRISTENSEN *et al.,* 2020; LAURENT *et al.,* 2014b). Nos últimos vinte anos, mais de 350 artigos científicos foram publicados nessa área (CHRISTENSEN *et al.,* 2020).

Isto deve-se a ACV fornecer informações valiosas sobre alternativas para o gerenciamento de resíduos, auxiliando na tomada de decisões sob uma perspectiva holística dos impactos ambientais (LAURENT *et al.,* 2014b). Suas aplicações vão desde a avaliação dos benefícios e a compreensão de um sistema de gestão de resíduos existente; melhoria dos sistemas de gestão de resíduos existentes; comparação do desempenho de tecnologias alternativas; desenvolvimento de tecnologias; desenvolvimento de políticas estratégicas; até a divulgação de relatórios de impactos (CHRISTENSEN *et al.,* 2020).

Apesar de ser um método bem desenvolvido e haver um consenso em relação a sua aplicação na gestão de resíduos, ainda existem alguns desafios a serem superados, como maior detalhamento, transparência e padronização na definição dos limites do sistema. Nesse sentido, a inclusão de diagramas esquemáticos dos limites do sistema pode auxiliar sua comunicação (MULYA *et al.,* 2022). Outro desafio é a contabilização dos impactos com a produção primária evitada em decorrência da reciclagem de resíduos e/ou recuperação energética. Comumente, essa avaliação é feita através da modelagem de substituição, porém ainda é pouco explorada e há falta de clareza e transparência na modelagem de substituição nos estudos existentes, como por exemplo sobre o método utilizado para estimar as taxas de substituição (VIAU *et al.,* 2020).

Os estudos existentes na área de resíduos geralmente empregam quatro tipos principais de unidade funcional: (a) unitário: definido por uma medida unitária, por exemplo: gestão de 1 tonelada de resíduos; (b) baseada na geração: definida pela geração de resíduos em uma dada região em um período de tempo especificado; (c) baseado em insumos: definido pelas quantidades de resíduos que entram em uma determinada instalação; (d)

baseado na produção: definido pelos subprodutos residuais, por exemplo: quantidade de energia recuperada ou material reciclado (LAURENT *et al.*, 2014a). No caso de sistemas de resíduos, deve-se incluir as especificações locais e quaisquer aspectos relevantes para garantir a comparabilidade dos sistemas, como a composição dos resíduos, os procedimentos operacionais e a infraestrutura adotada (LAURENT *et al.*, 2014a). A maior parte dos estudos existentes considera 1 tonelada de resíduos como unidade funcional (KHANDELWAL *et al.*, 2019; LAURENT *et al.*, 2014a).

Usualmente dentro do escopo dos estudos de ACV, os estágios do ciclo de vida incluem os sistemas de coleta, transporte, reciclagem e tratamento (biológico, incineração e aterro sanitário) e dentro de cada um desses processos, envolvem também os subprocessos adicionais para desempenhar a função principal (IQBAL *et al.,* 2020). O escopo deve considerar três tipos de aspectos: (1) bens de capital, (2) coleta e transporte e (3) transporte e tratamento de coprodutos e resíduos secundários (IQBAL *et al.,* 2020; LAURENT *et al.,* 2014a):

1) Bens de capital: engloba construção/manufatura e manutenção e desativação de instalações e unidades de tratamento, equipamentos, maquinários e veículos.
2) Coleta e transporte: deslocamento dos resíduos e fluxos secundários para o sistema de resíduos e entre instalações de tratamento.
3) Produtos e resíduos secundários: produtos secundários, como por exemplo o composto resultante de tratamento biológico, normalmente são contabilizados como créditos, como no exemplo, aqueles originários ao substituir o fertilizante à base de combustível fóssil pelo composto. E os resíduos secundários, como por exemplo de processos como pré-tratamento de resíduos e incineração são contabilizados como parte do impacto do transporte e do aterro de cinzas / resíduos.

A exclusão de atividades das fronteiras do sistema pode ser feita e deve ser justificada, assim como as consequências para a precisão e limitações das conclusões e recomendações declaradas (LAURENT *et al.,* 2014a). Os três principais critérios de corte utilizados nos estudos de ACV sobre sistemas de gerenciamento de resíduos, são: 1) impacto insignificante diante dos resultados gerais; 2) impacto similar na cadeia de resultados antes ou depois da entrada no sistema; 3) suposições feitas devido à falta de dados (IQBAL *et al.,* 2020).

Os impactos dos sistemas de gestão de resíduos sólidos apresentam forte ligação com as características locais, por exemplo a composição dos resíduos, por isso precisam ser modelados com dados que correspondam à realidade local (LAURENT *et al.*, 2014b). Por isso, a ACV muitas vezes fica limitada pela base de dados disponíveis (CIROTH *et al.*, 2015). Um exemplo disso é o estudo de Lima *et al.* (2018) sobre ACV no Brasil, que atribui parte das limitações do estudo ao fato de desconsiderar o fluxo de resíduos recuperados pelo setor informal que desempenha um papel importante nos sistemas de gestão de resíduos do país.

Dados secundários são utilizados quando dados primários não estão disponíveis e sua coleta não é viável. Não existe uma base de dados brasileira robusta, mas existem iniciativas em curso para melhorias do Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida, lançado em 2015 (UGAYA *et al*., 2019). A base de dados *Ecoinvent* é a mais difundida globalmente e amplamente utilizada no Brasil, porém a maior parte dos dados utilizados em estudos brasileiros têm cobertura geográfica global e são adaptados para as características locais. A *Ecoinvent* vem ampliando sua cobertura geográfica de vários países em desenvolvimento, dentre eles o Brasil, inclusive com relação a inserção de dados sobre tratamento e descarte de resíduos em países em desenvolvimento e reciclagem informal de resíduos eletroeletrônicos.

Para o cálculo do impacto ambiental, os dados de inventário devem ser correlacionados ao indicador da categoria, através dos fatores de caracterização. As categorias de impacto representam as classes de problemas relevantes que podem ser provocados ou agravados pelos aspectos ambientais do produto em estudo. Elas devem refletir as principais questões vinculadas ao sistema de produto estudado, de acordo com o objetivo e escopo do estudo (ABNT, 2014a).

É recomentado incluir todas as categorias de impacto relevantes, relatar e justificar quaisquer limitações com relação à cobertura de impacto na definição do escopo e ter precaução para evitar a dupla contagem (ABNT, 2014a). Autores como Iqbal *et al.* (2020); Khandelwal *et al.* (2019); Laurent *et al.* (2014b) realizaram estudos bibliográficos sobre aplicação da ACV para sistemas de gerenciamentos de resíduos sólidos e as categorias de impactos que predominam nesse tipo de estudo são: Aquecimento Global/Mudanças Climáticas; Acidificação; Eutrofização; e Potencial de Toxicidade Humana.

O uso de *Software* para realização de estudos de ACV, facilita a coleta, organização e análise de dados, a modelagem de sistemas e avaliação de emissões e seus impactos no meio ambiente (KHANDELWAL *et al.*, 2019). Dentre os *Softwares* existentes, os mais

utilizados em estudos de ACV de sistemas de gestão de resíduos sólidos são: *SimaPro, GaBi e EASETECH* (KHANDELWAL *et al.*, 2019).

### 3.2.2 Custeio do Ciclo de Vida

O CCV foi utilizado pela primeira vez em 1933 e se disseminou na década de 1960 nos EUA e 1970 na Europa à medida que as autoridades perceberam que os custos de operação e manutenção de equipamentos e construções poderiam ser maiores do que o custo de investimento inicial (HUNKELER *et al.*, 2008).

Na visão de Hunkeler *et al.* (2008) é uma técnica bem estabelecida, como no caso da aplicação do CCV-convencional focada em produtos de alto valor de investimento inicial em capital. Para condução desse tipo de CCV existem normas de referência como as ISO 15663-2 e 15663-3 no setor de petróleo e gás natural e a ISO 15686-5 no setor da construção civil (DE MENNA *et al.*, 2016), mas que não são utilizadas como base para estudos de CCV no campo dos resíduos sólidos. Foi encontrado na literatura apenas o estudo de SOUSA *et al.* (2018) que adapta a ISO 15686-5 para avaliar os custos da coleta de resíduos.

A avaliação econômica de sistemas de gestão de resíduos é um campo ainda em desenvolvimento (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015). Em especial os estudos de CCV são escassos, apesar de terem aumentado recentemente (SHARMA e CHANDEL, 2021). Um exemplo é estudo de (PAES *et al.*, 2020a) que realiza o Custeio do Ciclo de Vida (CCV) do sistema de gestão de resíduos sólidos de Sorocaba, Estado de São Paulo. Na análise foram contemplados os custos operacionais e de investimento, além dos custos das externalidades ambientais das mudanças climáticas, recursos hídricos e energia, resultando em um custo total para a sociedade.

Estudos recentes que utilizaram o CCV para investigar os impactos econômicos de diferentes tipos de sistemas de gestão de RSU mostraram que é uma ferramenta poderosa para fornecer uma análise econômica sistemática dos sistemas de gestão de resíduos (PAES *et al.*, 2020a; SHARMA e CHANDEL, 2021), podendo ser utilizada para avaliação de um sistema atual ou para avaliação de diversos cenários (DE MENNA *et al.*, 2018).

Tais estudos adotam uma variedade de abordagens e carecem de transparência em seu detalhamento em questões como: quais são os princípios dos cálculos utilizados e uma definição clara dos termos adotados; delimitação das fronteiras do sistema e quais foram os pressupostos estabelecidos (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015).

Existem na literatura três categorias de estudos de CCV (HUNKELER *et al.*, 2008):

- O CCV – convencional, que é até hoje o mais difundido e utilizado por empresas e governos, é uma avaliação puramente econômica, onde são considerados todos os custos de investimentos e operacionais que sejam suportados diretamente por um determinado ator, normalmente pelo produtor ou consumidor (HUNKELER *et al.,* 2008; MARTINEZ-SANCHEZ *et al.,* 2015).
- O CCV – ambiental: é o tipo indicado para ser realizado em paralelo com a ACV-ambiental, pois fronteira do sistema é expandida para contemplar todo ciclo de vida do produto. Incluindo os custos suportados por todas as partes interessadas e as externalidades ambientais (HUNKELER *et al.,* 2008; MARTINEZ-SANCHEZ *et al.,* 2015).
- O CCV – social: é mais amplo e contempla uma gama de custos que poderão ser relevantes à longo prazo, para as partes interessadas afetadas diretamente ou indiretamente pelo ciclo de vida do produto, ou seja, a sociedade como um todo (DE MENNA *et al.,* 2018; HUNKELER *et al.,* 2008).

No CCV – ambiental, que inclui as externalidades relevantes para uma decisão futura, os custos devem estar relacionados a fluxos monetários reais para evitar que haja sobreposição ambiental e econômica (EUROPEAN COMMISSION, 2011; KLOEPFFER, 2008; HUNKELER *et al.,* 2008).

Os custos das externalidades são impactos ambientais e sociais não suportados, em termos de custos, diretamente por nenhum dos participantes do ciclo de vida do produto. A internalização das externalidades se trata de contabilizar esses impactos, monetizá-los em termos de custos ou benefícios e incluídos no sistema do produto. Exemplos de externalidades são: despesas com saúde e segurança, custos com a prevenção da poluição, impactos ao bem-estar humano, cobrança pelo uso dos recursos hídricos, créditos de carbono, etc. (HUNKELER *et al.,* 2008; UNEP-SETAC, 2009).

Embora a abordagem ideal para ser utilizada na ASCV seja o CCV – ambiental (KLOEPFFER, 2008) a maioria dos estudos de ASCV (avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida) atuais executam a abordagem de CCV – convencional (COSTA *et al.,* 2019), a qual possui limitações, pois se refere apenas a custos, não incluindo aspectos como lucro; vantagem competitiva; impactos no mercado do produto e na economia regional, etc. (SOUZA *et al.,* 2015). Por isso, não refletem verdadeiramente a sustentabilidade de um produto, pois como aponta Klöpffer e Ciroth (2011) os produtos sustentáveis apresentam

maior custo de compra, mas em sua maioria, apresentam menores custos nas fases de uso e fim de uso.

Para o gerenciamento de resíduos, é crucial levar em conta todos os custos ao longo do ciclo de vida, como a economia de custos para a sociedade como um todo, se os materiais puderem ser reciclados e não precisarem ser descartados, ou os custos adicionais para monitoramento a longo prazo e cuidados posteriores para aterros para resíduos biodegradáveis (EUROPEAN COMMISSION, 2011).

Provavelmente isso se deve à falta de métodos para incluir as externalidades (DE MENNA *et al.,* 2018) e de clareza sobre a dupla contagem dos impactos. No CCV-ambiental geralmente são contabilizadas as externalidades de emissões para o ar, através dos custos da mitigação dos impactos no mercado de carbono ($CO_2$). Já os custos indiretos externos raramente são contabilizados.

Para condução do CCV é necessário estabelecer a perspectiva da análise. Dependendo da perspectiva de análise os custos mudam, haja vista que para fluxos monetários, sempre há uma parte pagando e outra recebendo diretamente o dinheiro (CIROTH *et al.,* 2015). Pode-se adotar uma perspectiva sobre um único ator (normalmente o tomador de decisão) ou multi-ator. Quando todas as partes interessadas afetadas pelo cenário de resíduos avaliado são incluídas o resultado mostrará os custos e sua distribuição entre as partes interessada, ou seja, em que parte interessada incorre mais ou menos custos. Esse resultado pode ser usado potencialmente para avaliar as necessidades de compensação financeira entre as partes interessadas (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.,* 2015).

No caso de Sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, na maioria dos países a responsabilidade pela gestão de resíduos é municipal, então as instalações de gestão de resíduos e coleta são administradas pelos municípios ou por empresas contratadas por ele. Quando se realiza o CCV- convencional tendo o município sob perspectiva de análise trata-se da análise de um sistema puramente econômico envolvendo apenas um ator (REICH, 2005).

Entretanto, os sistemas de gestão de resíduos envolvem outras partes interessadas com interesses distintos, como: (a) os geradores de resíduos (por exemplo, residências), (b) operadores de instalações de resíduos e (c) autoridades (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.* 2015). Quando se adota uma visão do ciclo de vida, os custos que ocorrem sobre esses diferentes atores devem ser incluídos e por isso, uma análise de distribuição dos custos deveria ser realizada como em (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.,* 2016; MARTINEZ-SANCHEZ *et al.,* 2015). Assim, é possível identificar quais partes interessadas e quais as

etapas do ciclo de vida apresentam os maiores custos (MENIKPURA *et al.,* 2012) e para a gestão de resíduos sólidos isso é importante, pois geralmente as decisões sobre implementação sistemas de gerenciamento de resíduos e tecnologias são afetadas por restrições econômicas (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015).

Também deve ser levado em consideração o período temporal que deve ser igual ao da ACV (quando realizados em conjunto) e os valores monetários devem ser ajustados temporalmente para representar o valor presente líquido, levando em conta fatores como depreciação e inflação (REICH, 2005; DE MENNA *et al.*, 2018; MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015).

Os custos econômicos embutem os impactos dos sistemas de apoio ou *"downstream"*, pois o preço de um produto/serviço carrega os custos de todo o ciclo de vida econômica nele, desde que os princípios de mercado que constroem o custo possam ser acordados (REICH, 2005). Por exemplo: o preço do combustível já embute todo custo de sua extração e distribuição. Assim, não há limites geográficos no CCV (REICH, 2005).

Não há uma base de dados genéricos paro CCV como na ACV, os dados devem ser coletados ao longo do ciclo de vida do produto (FOOLMAUN e RAMJEEAWON, 2012). No caso em que nem todos dados necessários estejam disponíveis, podem ser empregados métodos de estimativas como o desenvolvimento de cenários e previsões, dentre outros. E também podem ser aplicados limites e regras de corte como na ACV (HUNKELER *et al.*, 2008). Depois de todos os custos determinados eles devem ser calculados de acordo com o fluxo de referência derivado da unidade funcional comum com a ACV (HUNKELER *et al.*, 2008).

Os dados econômicos não são fáceis de serem obtidos, pois além de poderem estar sob confidencialidade e serem de difícil acesso, representam apenas a situação local (DE MENNA, 2018). Isso se deve às especificidades microeconômicas locais, diferenças na tecnologia utilizada e na definição dos custos (TOMIĆ e SCHNEIDER, 2020).

Os custos são classificados em internos e externos (HUNKELER *et al.*, 2008; DE MENNA *et al.*, 2016). No primeiro caso são os custos que ocorrem dentro e fora do sistema de gestão de resíduos e no segundo são as externalidades que estão fora do sistema e por isso, ainda não têm valor de mercado (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015). Podem ser classificados também em:

- Custos orçamentários: incorrem sob as partes interessadas e podem ocorrer uma única vez (ex. custo de capital) ou serem recorrentes (ex. Custos

operacionais, salários e de manutenção) (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.* 2015).

- Transferências: são fluxos monetários que representam apenas uma redistribuição monetária renda entre as partes interessadas (ex. impostos ou subsídios) (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015).
- Externalidade: representam os efeitos causados sobre bem-estar social, que não são contemplados nos custos dos produtos ou empreendimentos causadores das externalidades e que normalmente são suportados e transferidos para as despesas públicas e sociais (ex. Emissões de gases e poluentes que causam problemas de saúde na população que utiliza do sistema público de saúde ou a poluição de um rio que comunidades dependem da pesca, turismo ou da água para sobreviver) (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015; PAES *et al.*, 2020a; 2020b).

As categorias de impacto comumente utilizadas em estudos de CCV aplicados à gestão de resíduos sólidos são custos de investimentos com infraestruturas (como máquinas e instalações), custos de operação (como consumos de energia elétrica, água, combustível, rejeitos e efluentes) e custos de externalidades, principalmente os custos relacionados a emissões atmosféricas como dióxido de carbono (MARTINEZ-SANCHEZ *et al.*, 2015; MASSARUTTO; CARLI; GRAFFI *et al.*, 2011; PAES *et al.*, 2019). Alguns estudos também contabilizam as receitas geradas com a venda de coprodutos (ex. materiais recicláveis ou biogás) (DE MENNA *et al.*, 2018).

No CCV não há a etapa de Avaliação de Impactos do ciclo de vida, o custo calculado para a unidade funcional estabelecida é o resultado do CCV (KLOEPFFER, 2008). O desafio é combinar os resultados econômicos com os resultados da ACV (REICH, 2005). Dos artigos revisados por Martinez-Sanchez *et al.* (2015), a maioria apresentava os resultados sem utilizar nenhum tipo de ponderação ou normalização. Essa abordagem apresenta os resultados de forma transparente, porém é de difícil compreensão para o público em geral e para auxiliar a tomada de decisão (DE MENNA, 2018). Paes *et al.* (2020b) estabeleceram gráficos para a transição por meio da ecoeficiência, para estabelecer os melhores cenários (do ponto de vista econômico e ambiental) de gestão de resíduos no Brasil.

Um CCV está sujeito aos mesmos problemas de incerteza que um ACV, então quando houver altos níveis de incerteza em relação aos custos esperados é aconselhável realizar análise de sensibilidade, principalmente para os custos e premissas que são diferentes nas alternativas estudadas, como taxas de desconto, períodos de análise, variações

esperadas de preço, valor presente líquido, taxas de retorno, etc. (REICH, 2005; HUNKELER *et al.*, 2008; DE MENNA *et al.*, 2016).

### 3.2.3 Avaliação Social do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) é uma técnica para avaliação de potenciais impactos sociais e socioeconômicos (positivos ou negativos) de produtos considerando todo seu ciclo de vida (UNEP, 2020). É a vertente da sustentabilidade com menor aplicação em estudos de ACV de gestão de resíduos (BERTICELLI *et al.*, 2020).

As primeiras discussões sobre a inserção de aspectos sociais à Avaliação do Ciclo de Vida surgiram em 1993 (UNEP-SETAC, 2009; PETTI *et al.*, 2018;) quando a categoria de impacto "bem-estar social" foi adicionada à ACV para retratar os impactos ambientais provenientes direta ou indiretamente de impactos sociais (UNEP-SETAC, 2009). De 2013 a 2016 houve o desenvolvimento de diversas metodologias e aplicações da ACV-S e atualmente estão sendo realizados esforços para a padronização, mas ainda há um longo caminho a alcançar para atingir sua maturidade científica (PETTI *et al.*, 2018; RAMOS HUARACHI *et al.*, 2020), especialmente com relação às metodologias e abordagens para ponderar os impactos sociais e socioeconômicos (MACOMBE *et al.*, 2011). Em 2020, mais um avanço foi dado em busca da padronização com o lançamento da versão atualizada do Guia da UNEP-SETAC *"Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations 2020".* O documento traz grande avanço em questões que não foram exploradas no guia anterior e continuavam gerando múltiplas interpretações dos praticantes, como coleta de dados, alocação e avaliação do impacto.

Costa *et al.* (2021) realizaram uma revisão da literatura sobre ACV-S aplicado à gestão de resíduos sólidos. Os autores apontaram que ainda há bastante variabilidade no método de aplicação da ACV-S, sendo que quase metade deles eram de desenvolvimento do metodologias e quase 40% utilizavam como base os guias da UNEP-SETAC. Diferentemente a ACV-ambiental, os estudos de caso de ACV-S predominam em países em desenvolvimento.

Existem duas abordagens diferentes para determinar o sistema de produto da ACV-S: a perspectiva da organização e a do processo. Na primeira abordagem, os impactos sociais estão mais relacionados ao comportamento das organizações onde ocorrem os processos do que aos processos em si. Dessa forma, o sistema de produto deve ser composto pelas organizações onde ocorrem os processos (DREYER *et al.*, 2006; JØRGENSEN *et al.*, 2008;

MACOMBE *et al.,* 2011). Na segunda, o foco no processo é a base para a avaliação, conforme é utilizado na ACV-ambiental (DREYER *et al.*, 2006; HUNKELER, 2006; MACOMBE *et al.,* 2011). As duas abordagens são complementares (PARAGAHAWEWA *et al.*, 2009). Quando se utiliza a visão de organização, surgem problemas de alocação se a empresa produzir mais de um produto, pois é difícil determinar parcela dos impactos sociais totais a serem atribuídos aos respectivos produtos (DREYER *et al.,* 2006). Para tal problema alguns autores sugerem o uso de alocação baseada na criação de valor ou no número de horas de trabalho despendidas (DREYER *et al.*, 2006; MARTÍNEZ-BLANCO *et al.,* 2014).

Como na ACV-S os impactos dependem do comportamento de organizações e partes interessadas e não de um fluxo físico é comum que os resultados não sejam relacionados à unidade funcional. Em outros casos os impactos podem ser relacionados com as horas de trabalho necessárias para que a função seja cumprida (UNEP-SETAC, 2020).

A ACV-S trata de impactos que incidem sobre as pessoas, por isso ela deve contemplar as atividades do ciclo de vida que afetam as partes interessadas (DREYER *et al.,* 2010), denominadas também pelo termo inglês de *"stakeholders"* que são grupos de atores sociais que possuem interesses compartilhados com as organizações, devido às suas relações com o sistema objeto da análise e que podem afetar ou serem afetados pela realização de um propósito organizacional (UNEP-SETAC, 2009). São classificadas no guia da UNEP (UNEP-SETAC, 2009) em cinco categorias principais: trabalhadores, comunidade local, sociedade (nacional e global), consumidores (em todos os estágios da cadeia de valor) e atores da cadeia de valor (por exemplo: fornecedores). A recente atualização do Guia UNEP adicionou a categoria "crianças" (UNEP-SETAC, 2020). Outras categorias ou subgrupos podem ser adicionadas de acordo com o estudo e características as locais, como: ONG's, o Estado, gerações futuras, acionistas, gerência, parceiros de negócios etc. (UNEP-SETAC, 2009).

A partir das partes interessadas são definidas categorias de impacto que derivam de temas de interesse social, como: direitos humanos, condições de trabalho, saúde e segurança, patrimônio cultural, governança e repercussões socioeconômicas, que são os impactos de ponto final, ou *"endpoint"*. Como estas classes são abstratas e gerais, elas são detalhadas em subcategorias de impacto que são temas ou atributos socialmente significativos. Essas subcategorias são provenientes, em sua maioria, de acordos e convenções internacionais (DREYER *et al.,* 2006), como também de regulamentações do Estado e melhores práticas reconhecidas internacionalmente (UNEP-SETAC, 2009).

O guia da UNEP-SETAC (2009) indica 31 subcategorias de impactos. Dessas as mais utilizadas nos estudos de ACV-S relacionados à gestão de resíduos sólidos e reciclagem são aquelas relacionadas às partes interessadas “trabalhadores” e “comunidades locais”: “emprego”, “jornada de trabalho”, “saúde e segurança/condições de trabalho”, “envolvimento/participação da comunidade” e “saúde e segurança /condições de vida da comunidade” (COSTA *et al.,* 2021).

Posteriormente, as subcategorias de impacto são analisadas através dos indicadores do inventário, expressos em indicadores semiquantitativos e qualitativos, dos quais estes são expressos com diferentes unidades de medida (RUSSI *et al.,* 2012). A etapa de coleta de dados é um desafio na ACV-S. Como os impactos sociais estão relacionados ao comportamento das empresas e sua interação com as partes interessadas, duas empresas produzindo exatamente o mesmo produto nos mesmos processos industriais podem ter impactos sociais diferentes (DREYER *et al.,* 2006; JORGENSEN *et al.,* 2008). Por isso, na ACV-S a demanda por dados específicos do local é essencial (VINYES *et al.,* 2013). Entretanto, isso requer muitos recursos e nem sempre é viável (KLOEPFFER, 2008).

Existem bases de dados para ACV-S, como a “*Social Hotspot Database – SHDB*” e “*Product Social Impact Life Cycle Assessment – PSILCA*”, porém elas fornecem dados agregados de setores específicos por países (UNEP-SETAC, 2020). Geralmente são utilizadas para análises genéricas, como no caso da modelagem de sistemas secundários do produto estudado ou para decidir sobre quais processos podem ser relevantes com relação aos impactos sociais e por isso, devem ser incluídos no sistema de produto. Nos casos das análises com bancos de dados *softwares* como *GaBi, SimaPro* e *OpenLCA* podem ser utilizados.

A fase de avaliação de impacto é composta pelas etapas de classificação, agregação e caracterização (UNEP-SETAC, 2009). Na classificação, os resultados do inventário são atribuídos a uma categoria de partes interessadas e / ou categoria de impacto específica (UNEP-SETAC, 2009). Na caracterização, resultados de ICV são convertidos em unidades comuns e agregados dentro da mesma categoria de impacto (ABNT, 2014a). Na ACV-S ela pode ser feita de forma similar a ACV-ambiental na abordagem tipo II (UGAYA *et al.,* 2023) (explicada a seguir), porém o mais comum é que a caracterização não seja matemática como na ACV-ambiental, podendo ser uma etapa de agregação básica de dados qualitativos ou envolver a comparação com pontos de referência de desempenho. Outra especificidade da ACV-S refere-se à pontuação e ponderação que podem fazer parte da etapa de caracterização (em vez da etapa de interpretação, como na ACV-ambiental) (UNEP-SETAC, 2009).

Existem dois tipos de abordagens de caracterização adotadas, a Tipo I e Tipo II. A primeira avalia o desempenho pontuando os dados do inventário de acordo com sua relevância relativa (determinada, por exemplo, com base pontos de referência, ex. acordos internacionais), e em seguida, agregando-os usando um sistema de pontuação. A segunda abordagem avalia causa e efeito dos caminhos de impactos, utilizando fatores de caracterização que têm os resultados traduzidos para uma categoria de impacto de *midpoint* ou *endpoint* (MARTÍNEZ-BLANCO *et al.,* 2014; SUREAU *et al.,* 2018; TOKEDE e TRAVERSO, 2020; UNEP-SETAC, 2009).

Não há consenso na etapa de AICV social (IBÁÑEZ-FORÉS *et al.,* 2019; YILDIZ-GEYHAN *et al.,* 2017). Não existem modelos de caracterização entre subcategorias e categorias de impacto na abordagem Tipo I, que é a mais utilizada pelos praticantes de ACV-S, mas os modelos de *Impact Pathway* (Tipo II) na ACV-S não estão bem desenvolvidos (UNEP-SETAC, 2020). A atualização do guia da UNEP-SETAC (2020) detalha essa etapa e espera-se que tal variabilidade seja mitigada em estudos futuros. Porém, até o momento não existe um método amplamente aceito para a fase de avaliação de impacto (SOUZA *et al.,* 2021).

A fase de interpretação é a menos explorada nos estudos de ACV-S (COSTA *et al.,* 2021). De acordo com UNEP-SETAC (2009), a fase de interpretação deve consistir em: (a) identificação dos problemas significativos; (b) avaliação de questões de completude e consistência; (c) nível de engajamento com as partes interessadas; (d) conclusões, recomendações e relatórios. O guia UNEP-SETAC (2020) adiciona as etapas: (e) sensibilidade e avaliação da qualidade de dados; (f) avaliação de materialidade.

## 3.3 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida da Gestão de Resíduos Sólidos e o setor informal

A ASCV é pouco utilizada para avaliação de sistemas de gestão de resíduos sólidos (BERTICELLI *et al.,* 2020). BERTICELLI *et al.* (2020) fizeram uma revisão sobre o tema e encontraram apenas 4 estudos que avaliam as três vertentes da sustentabilidade. Além disso, dentre esses estudos, poucos consideram o setor informal e sua inclusão na ACV da gestão de resíduos é um desafio (LAURENT *et al.,* 2014a; FERRONATO *et al.,* 2021).

O artigo de Paes *et al.* (2020b) desenvolve um método que combina ACV e CCV-social para analisar sistemas de resíduos sólidos, considerando os custos das externalidades

das mudanças climáticas, energia e recursos hídricos. O método foi aplicado na cidade de Sorocaba, São Paulo. Os resultados da análise integrada dos indicadores ambientais e econômicos revelou que os melhores resultados são obtidos nos cenários que integram compostagem, tratamento mecânico biológico (TMB) e reciclagem, pois reduzem os impactos em até 33,7 pontos por dólar investido. Em outro artigo que considerou apenas os impactos ambientais e os custos das externalidades das mudanças climáticas, além dos custos operacionais e de investimentos, os melhores cenários para a transição por meio da ecoeficiência no Brasil, se demostraram por meio dos cenários com compostagem, reciclagem e aterros sanitários, já que os cenários com incineração e TMB (mesmo que menores emissões) apresentarem custos mais elevados para os países em desenvolvimento Paes *et al.* (2020b).

Vinyes *et al.* (2013) utilizaram ASCV para comparar a sustentabilidade de três sistemas de coleta de resíduo de óleo usado em um bairro de Barcelona. A aplicação da ASCV mostrou que o sistema de coleta centralizado apresentou melhor desempenho ambiental e econômico, pois o impacto ambiental diminuiu quando os pontos de recolhimento estão próximos das casas dos cidadãos e os custos diminuem dependendo do veículo usado no processo de coleta. Enquanto que os sistemas de coleta porta-a-porta apresentaram melhor desempenho social, por sua contribuição em termos de número total de colaboradores, inclusão de colaboradores com deficiência e carga horária de trabalho adequada. Porém sua eficiência ambiental e econômica foi pior, indicando a importância da avaliação conjunta das três dimensões da sustentabilidade.

Menikpura *et al.* (2012a) desenvolveram um método de ASCV baseado em impactos "*endpoint*". Para a vertente ambiental "danos ao ecossistema" e "danos aos recursos abióticos"; para a econômica o custo por tonelada de RSU gerenciado, incluindo a "disposição a pagar" para estimar o custo com externalidades; e para a vertente social "danos à saúde humana", expresso em DALY (anos de vida ajustados por incapacidade) e "bem-estar da comunidade", que expressa o número de trabalhadores que podem ter uma "boa vida" com base na renda gerada pelo sistema de gestão de RSU.

Os autores aplicaram esse método para avaliar a sustentabilidade do sistema de gestão de resíduos de Nonthaburi, Tailândia. Os referidos autores concluíram que a sustentabilidade do SGIRSU de Nonthaburi é altamente sensível à taxa de reciclagem, pois é a maior contribuinte para evitar impactos à saúde humana e é a maior geradora de oportunidades de emprego e renda, sendo capaz de gerar por tonelada de resíduos, receita suficiente para cobrir as despesas mensais de uma pessoa de classe média (MENIKPURA *et*

*al.*, 2012a). A digestão anaeróbica e a incineração apresentaram bons desempenhos ambiental e social, porém essas tecnologias não se mostraram economicamente sustentáveis devido ao seu alto investimento e custos operacionais (MENIKPURA *et al.*, 2012a).

O mesmo método foi aplicado em Menikpura *et al.* (2013b) para avaliar a sustentabilidade da reciclagem e de aterros sanitários em Nonthaburi, Tailândia. Os resultados obtidos mostraram que a reciclagem contribui substancialmente para melhorar a sustentabilidade social, econômica e ambiental geral do sistema de gestão de resíduos. E que seus impactos positivos compensaram os danos causados pelos 73% de RSU que vão para os aterros sanitários. Apesar de reconhecer que a reciclagem é geradora de renda para empresas formais e informais, o setor informal não foi considerado no estudo.

Souza *et al.* (2016) avaliaram a sustentabilidade de sistemas de gestão de resíduos eletroeletrônicos (REEE) na cidade do Rio de Janeiro, Brasil por meio de um modelo de análise multicritério integrada com Avaliação do Ciclo de Vida. O trabalho considera a atuação do setor informal, que possui relevante participação na coleta e processamento dos REEE no município, porém utiliza dados assumidos e que podem não corresponder à realidade. O estudo aponta que o cenário base, que considera o setor informal é o pior em quase todas as categorias, por exemplo os impactos na toxicidade da água doce devido à liberação de cobre, zinco e níquel no solo. Dessa forma, os autores sugerem que o sistema informal deve ser substituído por um sistema de coleta híbrido com pontos de entrega em lojas de eletroeletrônicos, estações de metrô e bairros, integração de empreendimentos sociais e cooperativas nos processos de pré-tratamento e reciclagem adequada, o qual foi apontado como o mais sustentável pelo estudo (SOUZA *et al.*, 2016).

Zhou *et al.* (2019) avaliaram a sustentabilidade dos sistemas de tratamento de resíduos em Hangzhou, China. Os autores propõem um método de ASCV chamado 3E+S (ambiental, energético, econômico e social). Ele combina ACV-ambiental, consumo de energia, CCV e ACV-social. E faz agregação final dos aspectos por meio de análise de multicritério integrando Processo de Hierarquia Analítica (AHP) e método de pesagem de entropia (ZHOU *et al.*, 2019). Os resultados mostraram que os cenários de incineração com recuperação energética apresentam menores impactos ambientais devido à reutilização da eletricidade e melhor pontuação social por possibilitar a geração de maior número de empregos e melhor desempenho na categoria “acesso a recursos materiais” por exigir menos terra ocupada do que os aterros sanitários no acesso a recursos materiais. Por outro lado, o cenário baseado em aterro sanitário com recuperação energética apresentou o menor custo

no CCV. Agregando os resultados o cenário 3, composto por incinerar usando tecnologia FB e produzir eletricidade, se mostrou o mais sustentável (ZHOU *et al.,* 2019).

De Feo *et al.* (2021) apresentam um método para avaliar os potenciais benefícios ambientais, sociais e econômicos contidos nos materiais recicláveis que são desperdiçados na fração não triada de resíduos sólidos urbanos. O método foi aplicado para avaliar o potencial do papel e papelão na região da Campânia na Itália e confirmou a presença de um enorme depósito de materiais recicláveis contidos nos resíduos não triados, que é uma fonte potencial, mas não explorada, de benefícios ambientais, sociais e econômicos. Por exemplo, a "mina urbana" de papel e papelão de Nápoles foi superior a 16 milhões de euros (lucro econômico), com uma economia potencial de cerca de 11,4 milhões de $kgCO_2eq.$ (pegada de carbono), 207 milhões de $m^2$ (pegada ecológica), 44 anos de vida ajustados por incapacidade (pegada de saúde), com criação de 30 postos de trabalho no setor de gestão de resíduos (benefícios ocupacionais).

Magrini *et al.* (2021) foi o único estudo encontrado que avalia a prevenção da geração de resíduos por meio da ACV. Os autores propõem um método para a avaliação da sustentabilidade de medidas de prevenção de resíduos a nível do consumo e o aplica para avaliar projetos de redução de resíduos plásticos descartáveis na região Emilia-Romagna, Itália, concluindo que a redução de resíduos é a alternativa mais sustentável deve ser promovida.

Papo e Corona (2022) utilizaram ASCV para avaliar os impactos da reciclagem de garrafas de polietileno de alta densidade (PEAD) na Holanda. Os autores concluíram que o PEAD reciclado apresentou reduções significativas em todas as categorias de impactos ambientais consideradas. Com relação a análise econômica, o estudo mostrou que, em geral, o PEAD reciclado tem um custo um pouco inferior ao do PEAD virgem, exceto na etapa de fabricação. Já na vertente social impactos do PEAD reciclado foram maiores do plástico virgem, devido às etapas de recuperação do material que ocorrem fora do país. Porém, os autores alertam para a alta incerteza dos resultados da ACV social devido à imprecisão dos dados, já que para essa análise foram utilizados dados genéricos de base de dados.

Existem na literatura alguns estudos que consideram o setor informal, mas não avaliam os três pilares da sustentabilidade. Como Yildiz-Geyhan *et al.* (2019) que avaliaram o desempenho ambiental e social de diferentes tipos de sistemas de coleta de resíduos de embalagens recicláveis na Turquia. Os autores concluíram que independentemente do tipo de coleta empregado (porta-a-porta, sistema de entrega, mista ou seletiva), o impacto ambiental dos sistemas era negativo, pois a reciclagem economiza matéria-prima, diminui o

consumo de energia e água, além de evitar as emissões relacionadas a essas atividades. Dessa forma, como os sistemas de coleta informal apresentaram maior taxa de coleta do que os sistemas formais, esses foram considerados ambientalmente mais eficazes. Por outro lado, os sistemas informais apresentaram maior riscos sociais, tanto para os trabalhadores quanto para a comunidade. Como impactos os ocasionados pelas condições ambientais anti-higiênicas da separação de resíduos de lixeiras mistas na área pública que pode causar a propagação de doenças e o potencial risco de crime no sistema de coleta informal que afetam e colocam em risco a vida da comunidade (YILDIZ-GEYHAN *et al.*, 2019).

Foolmaun e Ramjeeawon (2013) avaliaram os impactos ambientais e sociais de quatro cenários de descarte de garrafas de polietileno tereftalato (PET) usadas em Maurício, compostos por aterro sanitário, reciclagem e incineração. O estudo mostrou que o cenário composto por 75% de produção de flocos de plástico (*flakes)* e 25% em aterro proporcionou a menor carga ambiental e social. Isso devido às emissões ambientais evitadas pela reciclagem e às melhores práticas sociais no setor de reciclagem, como ausência de casos de trabalho infantil, discriminação sexual ou trabalho e presença de benefícios sociais.

Aparcana e Salhofer (2013a) desenvolvem um método de aplicação da ACV-S para avaliar o impacto social dos sistemas de reciclagem formalizados em países de baixa renda, incorporando as questões sociais das abordagens de reciclagem informal e formal. O método é aplicado por Aparcana e Salhofer (2013b) em três sistemas de reciclagem no Peru e demonstrou que cada abordagem de formalização apresenta pontos positivos e negativos. A abordagem de formalização com cooperativas/associações apresenta impactos positivos nas subcategorias liberdade de associação e negociação coletiva, condições psicológicas de trabalho. Enquanto a abordagem operada pelo município mostra impactos sociais positivos nas subcategorias jornada de trabalho e salários mínimos e justos. Ambas são positivas em relação ao trabalho infantil e negativas em relação a discriminação, relações de emprego reconhecidas e cumprimento de benefícios sociais, condições físicas de trabalho e educação.

Ibáñez-Forés *et al.* (2019) desenvolvem um método e avaliam o desempenho social dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos de João Pessoa, Brasil, onde a coleta seletiva foi implementada com a colaboração de antigos catadores informais reorganizados em associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Os resultados mostraram que melhorias foram alcançadas, por exemplo nas categorias “Horas de trabalho e / ou descanso semanal” e “Condições de vida seguras e saudáveis (acesso a recursos materiais)”, seguidos de “Satisfação do cliente / cidadão”, porém ainda são necessárias melhorias nas categorias “igualdade de oportunidades/discriminação”, “benefícios

trabalhistas”, “Regulação laboral”, “Salário justo”, “Características sociais da população” e “Emprego legal com benefícios / segurança social”.

Vergara *et al.* (2016) também avaliaram cenários com diferentes estratégias de formalização do setor informal em Bogotá, Colômbia, porém incluíram apenas a emissão de gases de efeito estufa (GEE). O estudo mostrou que o cenário de reciclagem dependente apenas do setor informal emitiu menos GEE do que todos os cenários de formalização, pois o setor informal é mais eficiente e recicla mais, haja vista que para os trabalhadores informais, o incentivo à reciclagem é econômico, é de onde ganham seu sustento e, como tal, trabalham para maximizar a quantidade e a qualidade dos materiais coletados.

Umair *et al.* (2015) investigam os impactos sociais da reciclagem informal de REEE no Paquistão por meio da AVC-S. O estudo mostra que a reciclagem informal de REEE gera impactos negativos especialmente impactos na saúde para seus trabalhadores e comunidade local, mas ao mesmo tempo ajuda a combater a pobreza proporcionando emprego e desempenhando um papel vital na economia e desenvolvimento.

# 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura experimental desta tese de doutorado é dividida em duas partes: a primeira visa mapear e descrever o Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGIRSU) do município de Bauru no Estado de São Paulo, com enfoque na reciclagem e inclusão de dados do setor informal. Essa parte consistiu em entrevistas com diversos atores envolvidos no SGIRSU de Bauru e consulta à documentos e dados secundários. Os materiais e métodos dessa parte são descritos no item 4.1.

A segunda parte visa modelar a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) aplicada a um estudo de caso em um comércio informal de materiais recicláveis no município de Bauru. Portando, para essa parte, foi escolhido um comércio de recicláveis (que estava disposto a contribuir com a extensiva coleta de dados que a ASCV demanda). Os materiais e métodos dessa parte são descritos no item 4.2.

## 4.1 Estudo do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos de Bauru, SP.

A primeira parte desta tese que estuda o SGIRSU de Bauru é caracterizada como exploratória e descritiva, por ser um estudo que busca investigar um problema pouco conhecido e descrevê-lo dentro do seu contexto (GIL, 2002; YIN, 2015). Dessa forma, se buscou entender e descrever como o SGIRSU funciona, englobando aspectos quantitativos e qualitativos do setor formal e informal de reciclagem. A investigação contou com o levantamento de informações com base em documentos e entrevistas.

Para levantamento de dados sobre a coleta seletiva de materiais recicláveis e as cooperativas de materiais recicláveis do município, foi entrevistado o então Diretor da Secretaria de Municipal de Meio Ambiente de Bauru (SEMMA) e foram consultadas informações de estudos científicos e relatórios públicos, como o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Bauru (BAURU, 2014), a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019) e a dissertação de Santos (2016).

Para o levantamento de dados sobre o setor informal atuante no município, que incluiu catadores individuais e autônomos, comércios de recicláveis e comerciantes intermediários, foram conduzidas observações de campo e entrevistas semiestruturadas com 3 catadores informais, 3 comércios de recicláveis e 3 comerciantes intermediários. Desta maneira, buscou-se abordar questões como: (a) com quais tipos de materiais eles trabalhavam; (b) onde coletavam os materiais; (c) qual o preço de compra e venda dos materiais ou se era doação; (d) quais tipos de processamentos realizavam; (e) quantidade média de cada tipo de material vendida por mês; (f) para quem eram vendidos os materiais, se eram comerciantes, intermediários ou recicladoras e as cidades que eles se localizavam; (g) se conheciam outras empresas do setor; e (h) se havia geração de rejeito.

Além desses pontos preestabelecidos na pesquisa, foi permitido que os participantes se expressassem livremente e informações relevantes para o objetivo do estudo foram adicionadas nos resultados apresentados, pois a pesquisa foi baseada em princípios da metodologia participativa para as pessoas, onde o conhecimento científico está atrelado ao conhecimento prático, como em Rutkowski e Rutkowski (2017).

Esta pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Artes de Comunicação da Universidade Estadual Paulista, campus Bauru – SP (CAAE nº 89978718.5.0000.5663). Antes de iniciar cada entrevista foi explicitado aos participantes do que se tratava a pesquisa, sua garantia de anonimato e o direito de deixar de participar da mesma a qualquer momento.

### 4.1.1 Área de estudo.

O município de Bauru está localizado no Centro-Oeste do Estado de São Paulo. É conhecido como um importante centro de prestação de serviços para sua população e a dos municípios vizinhos, principalmente nas áreas comercial, educacional e de saúde (FRANCELIN, 2015). O seu Produto Interno Bruto é de R$ 13 bilhões (SEADE, 2019). Seu índice de desenvolvimento humano municipal - IDHM é de 0,801 (SEADE, 2019), considerado alto em comparação com a média brasileira que é de 0,778 (Atlas Brasil, 2021). A população do município, estimada em 364.225 habitantes, apresenta uma taxa de crescimento de 0,59% ao ano e é 98,33% urbana (SEADE, 2019).

## 4.2 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

A Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) foi do tipo contábil, pois contabilizou os impactos ambientais, sociais e econômicos de uma organização informal de reciclagem. O modelo escolhido para realização da ASCV foi o descrito por Kloepffer (2008), onde a ASCV é a soma teórica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) – ambiental, mais o Custo do Ciclo de Vida (CCV) e a Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S).

O estudo de ASCV teve como base metodológica a publicação "*Towards a life cycle sustainability assessment: making informed choices on products"* da United Nations Environment Programme/Society of Environmental Toxicology and Chemistry (UNEP-SETAC, 2011). Segundo recomendações descritas em seu texto, a ASCV deve ser realizada separadamente para as vertentes ambiental (ACV), econômica (CCV) e social (ACV-S), respeitando as metodologias próprias de cada método e as normas ISO 14040 e 14044. Outro requisito importante é que a ACV, CCV e ACV-S tenham objetivo e escopo comuns.

Por isso, o método para o desenvolvimento do ASCV será apresentado em uma parte comum denominada *"5 Modelagem do Ciclo de Vida"* onde foi definido o objetivo e escopo do estudo e são apresentadas as três partes distintas de "Análise do Inventário do Ciclo de Vida": uma para cada vertente da sustentabilidade (ambiental, econômica e social) e duas partes de "Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida", uma para a vertente ambiental e outro para a social. Posteriormente, será feita a interpretação dos resultados dos três pilares da sustentabilidade de maneira conjunta e integrada, mas sem converter os resultados em um único índice de sustentabilidade, como indicado em UNEP-SETAC (2011).

## 4.3 Modelagem do Ciclo de Vida

### 4.3.1 Objetivo e escopo

#### 4.3.1.1 Objetivo

O objetivo deste estudo de ASCV é analisar a performance ambiental, econômica e social de uma organização informal de reciclagem de resíduos sólidos secos (papéis, plásticos, vidro e metais). Uma organização informal na cidade de Bauru – SP

foi utilizada como estudo de caso para essa avaliação. Esse estudo poderá ser utilizado por estudiosos na área de ASCV e gestão de resíduos e reciclagem e para subsidiar políticas públicas acerca da informalidade da reciclagem. Portanto, o público-alvo do estudo são pesquisadores e profissionais das áreas de ASCV e Gestão de Resíduos Sólidos.

#### 4.3.1.2 Abordagem da ACV

Este estudo se enquadra como um estudo analítico do tipo contábil que descreve o sistema analisado. A abordagem de modelagem do estudo é atribucional, ou seja, o sistema é estático e utiliza dados médios na contabilização de trocas entre os limites de um sistema (SCACHETTI 2016; BASSI 2017).

#### 4.3.1.3 Função, unidade funcional e fluxo de referência

O sistema analisado tem a função de "tratar 1 tonelada de resíduos sólidos recicláveis secos". A unidade funcional é 1 tonelada de resíduos sólidos recicláveis (papel, plástico, metal e vidro) vendidos para o próximo elo da cadeia. O fluxo de referência é 1,07 toneladas de resíduos sólidos mistos (pois contabiliza os rejeitos gerados no processo).

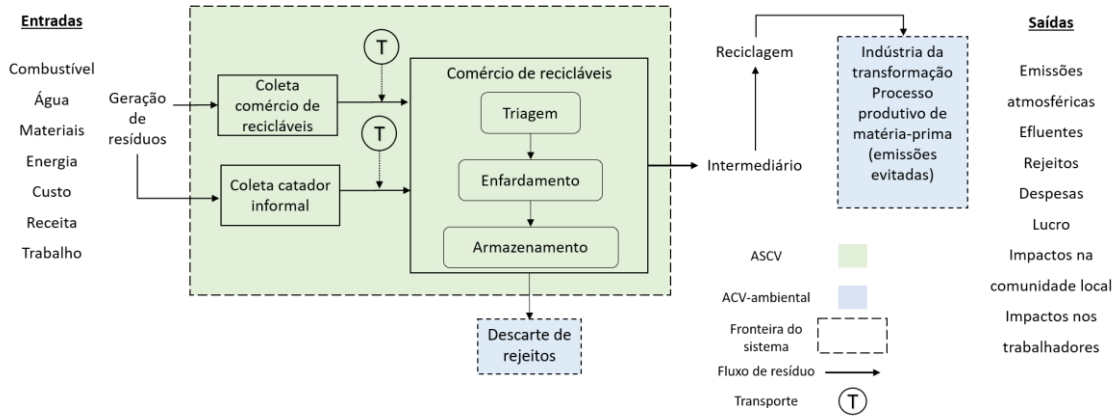
#### 4.3.1.4 Fronteiras do sistema de produto

O sistema de produto considera o ciclo de vida dos resíduos do berço ao portão, ou seja, desde a coleta dos resíduos recicláveis até a venda dos materiais recicláveis para um intermediário. O transporte dos materiais vendidos do comércio de recicláveis até o intermediário está fora da fronteira do estudo, pois ele é feito pelo intermediário. O sistema de produto da ASCV compreende as atividades de coleta por catadores informais e a coleta realizada pelo comércio de recicláveis e sua operação (incluindo o recebimento e triagem dos resíduos; o enfardamento, armazenamento e venda dos materiais recicláveis e a disposição dos rejeitos). Os fluxos dos processos de sistemas de segundo plano (*"background")* a esses sistemas de primeiro plano citados também são considerados, por exemplo, cargas *upstream* da produção de energia elétrica utilizada, diesel consumido e fabricação de caminhões (FRIEDRICH; TROIS, 2016; VAN HAASTER *et al.*, 2017; LIMA *et al.,* 2018).

Houve a expansão da fronteira do sistema para englobar os impactos ambientais evitados da produção primária com a matéria-prima secundária (detalhado no item 5.1.1.5

- Multifuncionalidade do sistema). Na Figura 1 é apresentado graficamente o sistema de produto estabelecido e seus fluxos de entradas e saídas.

Figura 1: Sistema de produto da ASCV




Fonte: autoria própria

#### 4.3.1.5 Multifuncionalidade do sistema

As atividades de tratamento de resíduos (como a reciclagem) são multifuncionais, pois além de tratarem os resíduos, produzem materiais secundários. Nesses casos, deve-se dividir as cargas de potenciais impactos entre os produtos gerados pela atividade. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT 14044 recomenda evitar o uso de alocação e priorizar outros métodos como a expansão das fronteiras do sistema.

De tal forma, a fronteira do sistema foi expandida para abranger os impactos evitados do processo de produção primária de bens de consumo a partir da matéria-prima secundária gerada e evitar o uso de alocação, como adotado pelos estudos de Paes *et al.* (2020a) e Rigamonti *et al.* (2010). Outra abordagem que reforça o não uso de procedimentos de alocação no estudo é o fato de serem considerados todos os tipos de materiais recicláveis coletados, processados e vendidos e não apenas uma tipologia (ex. papel ou plástico).

Também foi adotado o conceito de suposição de carga zero - "*zero burden asssumption*" (EKVALL *et al.*, 2007), onde os resíduos entram como matéria-prima para o processo analisado, ou seja, são desconsiderados os encargos incorporados ao resíduo no seu ciclo de vida anterior antes dele se tornar resíduo (EKVALL *et al.*, 2007). Assim, os resíduos entram no sistema de produto estudado sem encargos ambientais, a exemplo do que foi adotado em Rigamonti *et al.* (2010).

#### 4.3.1.6 Tipo e qualidade dos dados

A cobertura geográfica compreende o município de Bauru no Estado de São Paulo e a cobertura temporal abrange o período de outubro e novembro de 2019. A cobertura tecnológica compreende o sistema vigente no município nesse período, composto por práticas, procedimentos e aspectos estruturais envolvidos na coleta, processamento e venda de materiais recicláveis, como detalhado no item 5.1, relativo à Gestão de resíduos sólidos urbanos e reciclagem em Bauru.

Inventário do Ciclo de Vida da ASCV é composto por dados primários nos sistemas de primeiro plano (*"foreground")* e dados genéricos e secundários nos sistemas de segundo plano ("*background*"), como é prática comum na ACV (SAADE *et al*, 2019). Os sistemas secundários envolvem a fabricação e manutenção de caminhões e vias de acesso, produção e transmissão de energia elétrica, água e combustível e produção primária de bens de consumo. Esses dados foram adaptados para a realidade brasileira sempre que possível.

Os dados primários do sistema de primeiro plano foram coletados diretamente com os atores envolvidos (catadores informais, responsável pelo comércio de recicláveis e funcionários). Porém, mesmo com alto rigor na coleta dos dados (detalhada no item 4.1), sua precisão fica condicionada à aspectos individuais da percepção dos entrevistados e à representatividade da amostra. Para contornar possíveis inconsistências foi realizada a avaliação da qualidade dos dados e a análise de sensibilidade.

### 4.3.2 Avaliação do Ciclo de Vida – ambiental

#### 4.3.2.1 Inventário do ciclo de vida

A seguir é descrita em detalhe a modelagem do inventário do ciclo de vida (ICV), onde são descritas as entradas e saídas consideradas para cada unidade de processo. São ainda explicitados os motivos de exclusão de dados e os pressupostos adotados, bem como os dados de inventário oriundos da Ecoinvent 3.8 disponibilizados juntamente com a licença *faculty* do SimaPro (ver Tabela 26 em Apêndice).

Os catadores que fizeram parte da amostra do estudo faziam a coleta dos materiais recicláveis de forma manual e não consumiam nenhum tipo de insumo (combustível, eletricidade ou água) para a coleta e eventual separação desses materiais. Dois dos catadores possuíam "carriolas" de tração manual construídas por eles mesmos e

uma catadora armazenava os materiais em bags em casa. Os impactos do carrinho e do bag foram desconsiderados. Eles informaram que coletam apenas aquilo que sabem que irão vender e por isso não geram rejeitos.

Dos comércios de recicláveis, considerou-se o uso de combustível dos veículos automotores para coletar os materiais recicláveis, os consumos de água e energia utilizadas na operação, a quantidade de rejeitos e sua destinação.

Nos sistemas em segundo plano, foram considerados os dados de consumos e emissões associados à construção e manutenção de caminhões, produção e distribuição de combustível, construção e manutenção de vias, energia e água e instalações de disposição de rejeitos e efluentes são de fontes secundárias extraídos da base de dados Ecoinvent 3.8. Dos processos disponíveis na Ecoinvent utilizou-se o modelo de corte "Allocation cut-off by classification", onde os encargos dos resíduos são de responsabilidade do produtor e os produtos recicláveis, são disponíveis sem encargos (cut-off 100%) (ECOINVENT, 2021).

Além disso, foram contabilizadas dentro das fronteiras do sistema de produto estudado, as emissões evitadas com a produção de matéria-prima virgem, como descrito no item "4.3.2.6 Emissões evitadas".

#### 4.3.2.2 Coleta e transporte

O inventário do transporte foi contabilizado considerando a quantidade de resíduos transportados e a distância percorrida (em tkm), seguindo a metodologia descrita em DOKA (2003b). As emissões são provenientes de dados secundários disponíveis na base de dados Ecoinvent 3.8. A emissão se dá em função do consumo de combustível por tonelada de resíduos transportados e de acordo com o padrão de emissões que varia conforme o ano de fabricação do veículo. A base de dados Ecoinvent 3.8 adota o padrão EURO de emissões que possui relação com o padrão de emissões brasileiro PROCONVE (CNT, 2009). Veículos fabricados antes de 1989 não possuíam nenhuma regulação, que é o caso dos veículos utilizados no estudo de caso, por isso os *datasets* para veículos sem regulamentação foram utilizados.

Para o transporte realizado por caminhonete, foi utilizado o *dataset* proveniente da África do Sul com a matriz energética adaptada para o Brasil, pois nessa categoria não existem dados sem regulamentação específicos para o Brasil e em uma comparação com outros *datasets* percebeu-se que os dados da África do Sul geram impactos mais aproximados aos dados do Brasil do que dados do resto do mundo (*ROW)*. As únicas

categorias de impacto que apresentaram discrepância foram “eutrofização marinha” e” uso da terra”. Por isso, na categoria transporte por veículo leve (*Transport, freight, light veicle)* optou-se por utilizar os dados da África do Sul adaptados para o Brasil com relação às entradas de óleo diesel e petróleo.

Os impactos dos sistemas em segundo plano também foram contabilizados por meio de dados genéricos da base de dados Ecoinvent 3.8. Nestes estão incluídos: a construção, manutenção e descomissionamento do veículo e a construção, manutenção e descomissionamento de vias estradas.

#### 4.3.2.3 Processamento

Na etapa de processamento dos resíduos (que inclui recebimento, separação, enfardamento e armazenamento) foram considerados os fluxos de matéria e energia necessários para a operação - água, energia, óleo lubrificante para a prensa e fitilho para amarração dos fardos. Os bags de ráfia utilizados para transporte dos resíduos foram desconsiderados, pois eles são adquiridos após seu uso (por empresas da agroindústria), é são reutilizados diversas vezes.

Os impactos da fabricação de prensas, empilhadeiras, esteiras de triagem não foram encontrados em bases de dados e na literatura dados sobre encargos da fabricação desses equipamentos. Além disso, Franklin Associates (2011) não considerou a energia e emissões referentes à fabricação de equipamentos para construir edifícios, veículos a motor e máquinas industriais, pois a energia e as emissões associadas a esses equipamentos geralmente são insignificantes se considerar a grande quantidade de produtos fabricados durante toda a vida útil dos equipamentos. Seguindo o mesmo raciocínio, os encargos associados à fabricação de prensas, empilhadeiras é insignificante se considerado todo o material que será processado durante sua vida útil. Por isso e pela falta de dados não foram considerados e acredita-se que essa decisão tenha pouco impacto no ICV.

As infraestruturas para a construção das instalações do comércio de reciclagem não foram contabilizadas, pois elas são praticamente inexistentes. O local é um terreno aberto que conta com algumas instalações improvisadas, como apresentado na seção 6.1.

#### 4.3.2.4 Rejeitos

Existem duas formas de descarte de rejeitos encontradas no estudo de caso: o descarte a céu aberto em locais inadequados e a queima a céu aberto. O impacto do descarte irregular de rejeitos foi calculado utilizando a metodologia de DOKA (2017b),

que apresenta um modelo para cálculo de impactos de descarte irregular de resíduos em lixões. Foi contabilizado também o transporte dos rejeitos até o descarte irregular que ocorre em uma cidade vizinha (33,1 km de distância). O impacto da queima a céu aberto foi calculado de acordo com o método desenvolvido por Doka (2017a).

#### 4.3.2.5 Efluente

O Departamento de Água e Esgoto de Bauru utiliza uma taxa de 65% de conversão da água consumida em esgoto sanitário para o cálculo da cobrança de esgoto (DAE, data certa não indicada [2019]). Essa mesma taxa foi utilizada para estimar o efluente gerado a partir do consumo de água calculado a partir de dados de gastos mensais em reais com consumo de água. No município existe uma estação de tratamento de esgoto com capacidade de $1{,}26*10^9$ L/ano (Martin, 2021).

#### 4.3.2.6 Emissões evitadas

Os materiais recicláveis vendidos são encaminhados para e reciclagem e isso evita que novos produtos sejam fabricados a partir de matéria-prima virgem, diminuindo impactos ambientais. Esses processos de produção primária foram modelados de acordo com Rigamonti *et al.* (2010), Bassi *et al.* (2017) e Lima *et al.* (2018). A Tabela 2 apresenta as taxas utilizadas para calcular a quantidade de material substituído e os processos do Ecoinvent 3.8 que foram utilizados como entrada de inventário. O cálculo da quantidade de material reciclado e matéria-prima substituída levou em consideração:

a) eficiência de seleção: parâmetro que mede a quantidade de material que realmente é enviado para recuperação. No caso considerou-se uma taxa de 1:1, baseado nas premissas de os materiais recicláveis vendidos já passaram pelo processo de separação e que uma nova triagem no intermediário não seria significativa.
b) eficiência de reprocessamento: refere-se ao percentual de recuperação. Esses dados foram adotados de Rigamonti *et al.* (2010) que refletem a realidade tecnológica da Itália, como em Bassi *et al.* (2017) e Lima *et al* (2018), pois não existem disponíveis para o Brasil.
c) eficiência global de reciclagem: que é o resultado da multiplicação da eficiência de seleção e a de reprocessamento. No caso, como a eficiência de seleção é 1, a eficiência global de reciclagem é igual à eficiência de reprocessamento.

d) Taxa de substituição: que é proporção de material secundário que substitui o material primário. Quando não se considerada que há uma possível degradação do material durante a reciclagem essa proporção é de 1:1. Quando se assume que há essa degradação na qualidade dos materiais secundários a razão de substituição é <1. Neste estudo foi considerado que há a degradação e as razões de substituição apresentadas em Rigamonti *et al.* (2010) foram adotadas.

Tabela 2: Taxas de eficiência e substituição dos materiais recicláveis e nomes dos *datasets* utilizados para os materiais substituídos.

| Material | Eficiência do reprocessamento (% em massa) [a] | Taxa de substituição [a] | Material substituído [b] |
|---|---|---|---|
| Papelão | 89% | 83% | *Corrugated board box {RoW}\| production* |
| Papel | 89% | 83% | *Paper, newsprint {RoW}\| paper production, newsprint, virgin* |
| PET | 76% | 81% | *Polyethylene terephthalate, granulate, amorphus {RoW}\| production* |
| PEAD | 90% | 81% | *Polyethylene, high density, granulate, {RoW}\| production* |
| PP | 60% | 81% | *Polypropylene, granutale, {RoW}\| production* |
| Plástico filme | 60% | 81% | *Packaging filme, low density polyethylene {RoW}\| production* |
| PVC | 60% | 81% | *Polyvinylidenchloride, granulate {RoW}\| production* |
| PS | 60% | 81% | *Polystyrene, expandable {RoW}\| production* |
| Aço | 90% | 100% | *Steel, unalloyed {RoW}\| steel production, converter, unalloyed* |
| Alumínio | 84% | 100% | *Aluminium, primary, ingot {Area, South America} \| aluminium production* |
| Vidro | 100% | 100% | *Packaging glass, green {RoW}\| production* |

[a] fonte: Rigamont *et al.* (2010)

[b]Fonte: Ecoinvent 3.8

#### 4.3.2.7 Avaliação de impactos do ciclo de vida

A avaliação de impacto do ciclo de vida ambiental utilizou o método "ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.06 / World (2010) H" e foi realizada com o auxílio do *software* SimaPro versão 9.3. As categorias de impacto analisadas foram aquecimento global, formação de material particulado, acidificação, eutrofização e potencial de toxicidade humana. Essas categorias foram selecionadas, pois são utilizadas com frequência e recomendadas em estudos de ACV na área de resíduos sólidos (Laurent *et al.*, 2014; Paes *et al.*, 2020a). Os resultados foram normalizados no *software* SimaPro com os fatores de normalização em PE (pessoa equivalente referente ao ano de 2010) do método ReciPe

2016 (Tabela 3). A unidades das categorias de impacto são descritas na Tabela 3, juntamente com seus fatores de normalização utilizados para se obter a contribuição relativa de cada categoria de impacto com relação ao impacto total.

Tabela 3: Categorias de impactos do Método ReciPe 2016, utilizadas no estudo e suas respectivas unidades e fatores de normalização.

| | Sigla | Categoria de impacto | Unidade de impacto | Fator de normalização |
|---|---|---|---|---|
| 1 | AG | Aquecimento global | kg $CO_2$ eq. | 0,000125 |
| 2 | FMP | Formação de material particulado fino | kg PM2.5 eq. | 0,0391 |
| 3 | AT | Acidificação terrestre | kg $SO_2$-eq. | 0,0244 |
| 4 | ED | Eutrofização de águas doces | kg P-eq. | 1,54 |
| 5 | EM | Eutrofização marinha | kg N eq. | 0,217 |
| 6 | THNC | Toxicidade humana não-carcinogênica | kg 1,4-DCB | 0,00032 |

Fonte: adaptado de *SimaPro*

### 4.3.3 Custeio do Ciclo de Vida

A abordagem da avaliação do custo do ciclo de vida (CCV) adotado neste estudo é o CCV – convencional, que foi desenvolvida com base nos estudos de: Hunkeler *et al.* (2008), Paes *et al.* (2020a), Martinez-Sanchez *et al.* (2015), Massarutto *et al.* (2011) e Sharma e Chandel (2021).

O objetivo, escopo, unidade funcional (UF) e limites do sistema do CCV são os mesmos estabelecidos para a ASCV apresentados no tópico 5. “Modelagem do Ciclo de Vida”. O CCV foi conduzida sob perspectiva da organização, ou seja, os custos são distribuídos pelas partes interessadas que os suportam. Desta forma, ele analisa o desempenho econômico dos sistemas já existentes. O inventário do CCV contempla os custos internos de investimentos, capital e operacionais para cada organização. Os custos de processos dos níveis acima *“upstream”* (ex. produção e distribuição de combustível) são contabilizados, pois já estão embutidos nos preços dos produtos ou serviços (BIERER *et al.*, 2015). Em resumo os custos considerados são:

- **CAPEX** (**Custos de capital e/ou de investimento)**: aqui considerados os custos com infraestruturas (como maquinários e instalações).
- **OPEX** (**Custos operacionais)**: aqui considerados os consumos de água, energia elétrica e combustível; custo para disposição de rejeitos e efluentes; salários; manutenções; custo com a compra de resíduos; e a receita com a venda dos materiais recicláveis, que será contabilizada e abatida das despesas para obtenção do resultado líquido.

O inventário foi construído com dados primários coletados com os catadores informais e dono do comércio de recicláveis. Os valores são em reais, válidos no período de 2019. Dados secundários e estimativas foram utilizadas para o cálculo dos custos de investimentos, onde foi considerado o valor de compra de um equipamento similar para o ano de 2019 e realizada a amortização, considerando o valor de compra do equipamento dividido pelo seu tempo de uso em meses. É comum nesse setor a compra de prensas, balanças, veículos e outros equipamentos usados, por isso a estimativa de preços para compra de maquinários levou em conta o preço de usados. Os dados de tempo, para fins de depreciação e amortização dos investimentos, foram retirados de SCHEINBERG *et al.* (2010), que realizou análise econômica de sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos municipais em países em desenvolvimento.

i. Tempo de uso de equipamentos igual a 5 anos.
ii. Tempo de uso de veículos pequenos igual a 7 anos.
iii. Tempo de uso de caminhões igual a 10 anos.
iv. Tempo de uso de carrinhos de mão igual a 5 anos.
v. Tempo de uso de construções e instalações igual a 30 anos.
vi. Custo com manutenção e reparos equivalente a 5% do custo de investimento.

### 4.3.4 Avaliação Social do Ciclo de Vida

A metodologia para a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S) foi elaborada baseando-se nos guias metodológicos para ACV-S da UNEP-SETAC (2009 e 2020): *"Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products"*; e no documento complementar, intitulado *"The Methodological Sheets For Sub-Categories In Social Life Cycle Assessment* (*S-LCA)"* UNEP-SETAC (2013 e 2021) que detalham cada subcategoria de impacto e sugerem indicadores para a avaliação. Segundo essas literaturas, a ACV-S segue a estrutura da ABNT 14040/44, composta pelas fases: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação (UNEP-SETAC, 2009). Sua estrutura é baseada na definição das partes interessadas, das categorias de impacto analisadas, as quais são subdivididas em subcategorias de impactos e, posteriormente, em indicadores para que possam ser mensurados.

Para a Avaliação de Impacto Social decidiu-se utilizar o método SAM ("*Subcategory Assessment Method*") ou em português "Método de Avaliação de Subcategorias", desenvolvido por Ramirez *et al.* (2014). Este é um modelo de caracterização de impactos que avalia para cada subcategoria de impacto o comportamento da organização responsável pelo processo envolvido no ciclo de vida do produto e o classifica em 4 estágios de acordo com os requisitos básicos previamente estabelecidos no estudo (Ramirez *et al.*, 2014).

A ACV-S é primordialmente subjetiva (CIROTH; FRANZE, 2011). Para ganhar mais objetividade na análise, os conceitos são abordados do ponto de vista de padrões sociais internacionalmente e localmente aceitos, como os ditados pela Organização Internacional do Trabalho ou por Leis nacionais. No SAM são chamados de Requisitos Básicos (BR) (RAMIREZ *et al.,* 2014). As normas utilizadas como requisitos básicos nesse estudo são detalhadas nos Apêndices e resumidas na Tabela 8.

O objetivo e escopo seguem conforme detalhado no item "5.1.1 Objetivo e escopo". O escopo envolve as organizações atuantes em cada etapa do ciclo de vida (Ramirez *et al.*, 2014). As organizações envolvidas nas unidades de processo desta tese são: três catadores informais e um comércio de recicláveis (Tabela 4).

Tabela 4: Organizações consideradas no estudo

| Unidade de Processo | Coleta | Separação, enfardamento e armazenagem |
|---|---|---|
| Organização | Catador informal X<br>Catador informal Y<br>Catador informal Z<br>Comércio de recicláveis W | Comércio de recicláveis W |

Fonte: elaborado pela autora

O primeiro passo para traçar o inventário do ciclo de vida é definir as partes interessadas. Como apresentado no item "Avaliação Social do Ciclo de Vida" da revisão bibliográfica, o guia da UNEP-SETAC (2020), apresenta 6 categorias de partes interessadas que podem ser impactadas pelo sistema de produto analisado: Sociedade (Nacional/global); Cadeia de Valor; Trabalhadores; Usuários/Consumidores; Comunidade Local e Crianças. No caso de sistemas de reciclagem em países de baixa renda as partes interessadas são: a prefeitura, os catadores informais, os catadores formalizados, cidadãos, empresas de reciclagem e empresas de disposição de resíduos (APARCANA e SALHOFER, 2013a).

Para esse estudo foram consideradas apenas as categorias T – Trabalhadores, C - Comunidade Local. Essas categorias são as que predominam (89% dos estudos) na

literatura de ACV-S relacionadas a sistemas de reciclagem em países em desenvolvimento e são as partes mais críticas segundo a literatura (Costa *et al.*, 2022). A literatura existente identifica que tais sistemas podem gerar impactos positivos por meio do emprego e renda, sendo reconhecidamente um meio de subsistência para muitas pessoas em vulnerabilidade socioeconômica; e, ao mesmo tempo, podem gerar impactos negativos aos trabalhadores, que ficam expostos à más condições de trabalho e ausência de garantias sociais (como apresentado na revisão da literatura no item "Os impactos da reciclagem"). Essas partes interessadas são representadas por atores que estão discriminados na Tabela 5.

Tabela 5: Detalhamento das partes interessadas selecionadas para o estudo.

| **Partes interessadas** | **Atores pertencentes às categorias de partes interessadas** |
|---|---|
| T - Trabalhadores | Catadores informais e trabalhadores dos comércios de recicláveis |
| C - Comunidade Local | População do município de Bauru – SP |

Fonte: autoria própria

Após a definição das partes interessadas, foram selecionadas as subcategorias de impacto que fariam parte do estudo com base nas que predominam nos estudos de ACV-S de sistemas de reciclagem em países em desenvolvimento (Costa *et al.*, 2022) e fossem relevantes para o contexto estudado com base em uma investigação de campo prévia que consistiu em conversas informais com comerciantes de recicláveis, catadores informais, o diretor da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA). Posteriormente, para cada subcategoria de impacto foram estabelecidos indicadores de impactos baseados naqueles utilizados nos estudos de Souza *et al.* (2015), Azimi e Dente, (2020), Aparcana e Salhofer (2013a), Ibáñez-Forés *et al.* (2019), Yıldız-Geyhan (2017), Umair (2015) e Foolmaun e Ramjeeawon (2013). Ao todo a ACV-S contou com a avaliação de 9 subcategorias de impacto que foram avaliadas através de 14 indicadores, detalhados na Tabela 7.

A partir de cada indicador são estabelecidas pontuações com base em requisitos básicos (RB), as quais os dados de inventário serão confrontados na avaliação de impacto. Dessa forma o desempenho da organização é classificado em 4 níveis: **A)** quando a organização apresenta comportamento proativo e/ou estimula a responsabilidade social em sua cadeia de valor; **B)** significa que a organização apenas atende ao RB; **C)** quando uma organização que desempenha suas atividades dentro de um contexto negativo não atende ao RB; **D)** quando a organização não atende ao RB, mas atua dentro de um

contexto positivo (RAMIREZ *et al.*, 2014). Os níveis são posteriormente convertidos em uma escala de 4 a 1 respectivamente como apresentado na Tabela 6 (RAMIREZ *et al.*, 2014). Tal método vai de encontro com o que o guia da UNEP-SETAC (2020) chama de Escala de referência para pontuação de desempenho com base em normas, práticas, melhores práticas e o contexto socioeconômico.

Tabela 6: Sistema de codificação e classificação do método SAM.

| Codificação | A | B | C | D |
|---|---|---|---|---|
| Pontuação | 4 | 3 | 2 | 1 |

Fonte: Elaborado pela autora a partir de RAMIREZ *et al.* (2014)

O modelo de avaliação SAM possui como uma de suas limitações a aplicação em pequenas organizações, pois os requisitos básicos são baseados em referências internacionais que normalmente envolvem atividades difíceis de encontrar em organizações pequenas e familiares. Outro ponto é que a magnitude das ações positivas não afeta a avaliação, pois este é pontuado quando a organização tem um comportamento proativo promovendo boas práticas na cadeia de valor (fornecedores ou parceiros). O método precisa ser melhorado nesses aspectos de acordo com os próprios autores (RAMIREZ *et al.*, 2014 e 2016).

Neste estudo, o método foi adaptado para que pudesse ser utilizado nas pequenas "organizações" informais estudadas (trabalhador informal e pequeno comércio informal). Sua estrutura básica de pontuações baseadas em requisitos legais foi mantida e os indicadores utilizados em estudos de ACV-S do setor informal foram considerados no lugar dos indicadores propostos pelo SAM, quando adequado. Por exemplo: na subcategoria emprego local o requisito básico proposto por Ramirez *et al.* (2014) é a evidência de que a organização possui uma política formal de preferência para contratação de mão de obra local; nesta Tese considerou-se a quantidade de empregos locais gerados; outro exemplo é a subcategoria "Liberdade para associação/sindicalização e negociação coletiva", para a qual foi considerada a evidência de que os funcionários possuem alguma organização que os represente ou não ao invés de considerar apenas se forem sindicalizados. Outro exemplo é a subcategoria "salário justo", onde o salário mínimo foi ajustado para fazer referência à hora trabalhada, pois esse setor apresentou alta variabilidade na jornada de trabalho.

Tabela 7: Descrição das subcategorias de impactos de acordo com UNEP-SETAC (2009 e 2013) e indicadores

| PI | Subcategoria de impacto (*midpoint*) | Descrição (Fonte: UNEP-SETAC, 2013) | Indicadores |
|---|---|---|---|
| T - Trabalhador | 1. Liberdade para associação e negociação coletiva | Avalia se os trabalhadores têm a liberdade para exercerem seu direito de organização, associação, negociação e greve | 1.1 Presença organização representativa atuante |
| | 2. Trabalho infantil | Avalia se a organização pode ou está empregando crianças e natureza de qualquer trabalho infantil. | 2.1 Presença de menores de 18 anos trabalhando direta ou indiretamente em desconformidade com a Lei |
| | 3. Salário justo | Avaliar os salários estão em conformidade com os padrões estabelecidos e se pode ser considerado um salário digno | 3.1 Salário igual ou maior ao salário mínimo (relativo à hora trabalhada) |
| | 4. Horas de trabalho | Avaliar se o número de horas trabalhadas está de acordo com os padrões e quando ocorrem horas extras há compensação em dinheiro ou tempo livre | 4.1 Carga horária semanal igual ou inferior a 44hrs de trabalho por trabalhador dentro da lei |
| | | | 4.2 Existência de pagamento extra ou compensação de horas extras |
| | 5. Igualdade de oportunidades/discriminação | Avaliar as práticas de gestão da igualdade de oportunidades e a presença de discriminação nas organizações e nas condições de trabalho. Inclui: idade, raça, sexo, religião, associação política, origem étnica ou qualquer outra característica individual ou de grupo não relacionada à habilidade, desempenho e qualificação). Ação: direta (que desfavorece um grupo/pessoa) e indireta (uma regra aparentemente neutra tem efeito negativo sob uma classe). | 5.1 Percentual de mulheres na força de trabalho |
| | | | 5.2 Equidade de salário entre homem e mulher para a mesma função |
| | | | 5.3 Se os trabalhadores se sentem discriminados dentro/exercendo seu trabalho |
| | 6. Saúde e segurança | Avaliar a promoção e a manutenção do mais alto grau de bem-estar físico, mental e social dos trabalhadores. Todos os trabalhadores têm direito a um local de trabalho seguro e saudável. | 6.1 Uso de EPI (Luvas, Óculos de segurança, Botas, boné, Uniforme, Máscara); |
| | | | 6.2 Ocorrência de acidentes de trabalho |
| | | | 6.3 Existência de doenças relacionadas ao trabalho (dores, etc.); |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 7. Benefícios sociais/segurança social | Avalia se uma organização fornece benefícios sociais e segurança social aos trabalhadores (compensações não monetárias, ex: Aposentadoria, invalidez, dependentes, licença médica, licença maternidade, seguro saúde e etc.) | 7.1 Acesso à Previdência social (inclui aposentadoria, afastamento por saúde) |
| C- Comunidade Local | 8. Participação da comunidade | Avalia se uma organização inclui as partes interessadas da comunidade em processos relevantes de tomada de decisão. Também considera em que medida a organização se envolve com a comunidade em geral. | 8.1 Existência de ações de educação ambiental e participação dos moradores |
| | 9. Emprego Local | Avalia o papel de uma organização em afetar direta ou indiretamente o emprego local | 9.1 Número de empregos diretos gerados |

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 8: Requisitos básicos e classificações da ACV-S

| Indicador | Atende ao Requisito Básico | Não atende ao Requisito Básico | | Referência do Requisito Básico | Referência para distinguir entre o nível C e D |
|---|---|---|---|---|---|
| | Nível B (3) | Nível C (2) | Nível D (1) | | |
| 1.1 | Existência de evidências de que os trabalhadores pertençam a organizações representativas de classe | Quando não há organização dos trabalhadores. | | Convenção nº87 (OIT, 1948) | Pontuação de Direitos do Trabalhador – WORKER (CINGRANELLI *et al.*, 2011) |
| 2 | Não há evidências de menores de 18 anos trabalhando. | Há evidências de menores de 18 anos trabalhando, mas não é enquadrada nas piores formas de trabalho infantil de acordo com a Convenção nº182 e a criança frequenta a escola | Há evidências de menores de 18 anos trabalhando em atividade enquadrada nas piores formas de trabalho infantil de acordo com a Convenção nº182 e/ou a criança não frequenta a escola | Convenção nº138 (OIT, 1973) | Classificação de piores formas de trabalho infantil Convenção nº182 (OIT, 1999) |
| 3 | Menor salário igual ou maior do que o salário mínimo vigente no país/setor, relativo à hora trabalhada | Quando o menor salário for menor do que o salário mínimo e a média salarial for igual ou maior do que o salário necessário do país que em 2019 era de R$ 4.021,39. | Quando o menor salário for menor do que o salário mínimo e a média salarial for menor do que o salário necessário do país que em 2019 era de R$ 4.021,39. | Decreto nº 9.661, de 1º de janeiro de 2019 - Estabelece o salário mínimo (BRASIL, 2019a). | Salário mínimo necessário - DIEESE (2019). |
| 4.1 e 4.2 | Carga horária máxima de um trabalhador de 8 horas por dia ou 44 horas semanal. | Se a carga horária máxima de um trabalhador ultrapassa 8 horas por dia ou 44 horas semanal, mas a média é inferior a 39,5 que é o número médio de horas trabalhadas por semana no setor / país ou há compensações por horas extras. | Se a carga horária máxima de um trabalhador ultrapassa 8 horas por dia ou 44 horas semanal e a média é superior a 39,5 que é número médio de horas trabalhadas por semana no Brasil ou não há compensações por horas extras. | Consolidação das Leis do Trabalho – CLT (BRASIL, 1943); Convenção nº 1 e nº 30 (ILO 1919; 1930) | Carga horária semanal média do país e compensação por horas extras Consolidação das Leis do Trabalho – CLT (BRASIL, 1943) OECD (2019) |
| 5 | Não há evidências de discriminação na | | Quando há evidências de discriminação e mulheres | Convenção OIT nº100 e nº111 | Classificação do país no índice de |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | organização e mulheres e homens recebem a mesma remuneração para funções equivalentes. | | recebem remuneração menor do que os homens para funções equivalentes | (OIT, 1951; 1958) | desigualdade de gênero (UNDP, 2019) |
| 6 | Presença de uma política, programa, diretrizes ou ações relacionadas à saúde e segurança, em conformidade com a Convenção da OIT nº161 | Não possui ações para prevenção de acidentes e a porcentagem de trabalhadores que relataram já terem sofrido acidentes ou sofrerem por doenças relacionadas ao trabalho é menor do que a porcentagem nacional de 1,23% | Não possui ações para prevenção de acidentes e a porcentagem de trabalhadores que relataram já terem sofrido acidentes ou sofrerem por doenças relacionadas ao trabalho é maior do que a porcentagem nacional de 1,23% | Convenção da OIT nº161 (OIT, 1985). | Porcentagem de acidentes e doenças ocupacionais comparada com a do país (MTE, 2019) |
| 7 | Garantia de benefícios sociais aos trabalhadores | Não há garantia de benefícios sociais aos trabalhadores e a taxa de trabalhadores sem esses benefícios é menor do que a taxa de informalidade no Brasil que é de 38% da população ocupada em 2020. | Não há garantia de benefícios sociais aos trabalhadores e a taxa de trabalhadores sem esses benefícios é maior do que a taxa de informalidade no Brasil que é de 38% da população ocupada em 2020. | Convenções da OIT nº 130, 128, 121, 168, 118, 157 e 183 | Índice de Informalidade do País (IBGE, 2020) |
| 8 | Evidência de que a organização considera incentiva a participação da comunidade (por exemplo: realiza ações de educação ambiental) | Se a organização não realiza ações e não considera a participação da comunidade, mas não há casos registrados de que a organização prejudicou a comunidade nos últimos 3 anos | Se a organização não realiza ações e não considera a participação da comunidade e há casos registrados de que a organização prejudicou a comunidade nos últimos 3 anos | Evidências de que a organização incentive a participação da comunidade | Registro de casos |
| 9 | Mais de 50% do total de funcionários seja de mão de obra local | | Menos de 50% do total de funcionários empregado localmente | Evidências de que a organização tem preferência para contratação de mão de obra local | Proporção emprego-população (IOL, 2020) |

Fonte: Elaborado pela autora

O inventário do ciclo de vida social foi composto por dados primários, coletados diretamente com as partes interessadas, através de entrevistas semiestruturadas, bem como de observações advindas das visitas de campo. Para isso, foi criado um questionário que foi utilizado como roteiro para as entrevistas. O questionário e as respostas obtidas podem ser encontrados na Tabela 25 em Apêndices.

Foram entrevistados o dono do comércio de recicláveis, que respondeu o questionário como responsável pela organização, três trabalhadores do local e três catadores informais. A amostra é representativa apenas para esse comércio de recicláveis. Pode-se considerar os dados confiáveis, pois foram coletados diretamente com os envolvidos e verificados pela técnica de triangulação, ou seja, confirmação da informação de cada questão por mais de uma fonte, como detalhado na Tabela 9. A Tabela 9 apresenta o tipo, a fonte e se foi aplicada triangulação para dado coletado referente a cada indicador estabelecido.

Tabela 9: Análise da qualidade dos dados de inventário da ACV-S

| I | Tipo de dado | Fonte de dados | Triangulação | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Catador informal | Comércio |
| 1.1 | Primário e secundário | Entrevista, observação em campo e consulta a sites | Questionário e observação em campo | Questionário e observação em campo |
| 2.1 | Primário | Entrevista e observação em campo | Perguntas cruzadas no questionário e observação em campo | Perguntas cruzadas no questionário e observação em campo |
| 3.1 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 4.1 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 4.2 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 5.1 | Primário | Entrevista e observação em campo | Entrevista e observação em campo | Entrevista e observação em campo |
| 5.2 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 5.3 | Primário | Entrevista | - | - |
| 6.1 | Primário | Entrevista e observação em campo | Entrevista e observação em campo | Entrevista e observação em campo |
| 6.2 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 6.3 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 7.1 | Primário | Entrevista | - | Perguntas cruzadas no questionário |
| 8.1 | Primário | Entrevista | - | - |
| 9.1 | Primário | Entrevista | - | - |

Fonte: elaborado pela autora

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 O gerenciamento de resíduos sólidos e o contexto de atuação do setor informal de reciclagem em Bauru, SP.

No município de Bauru são geradas anualmente 88.086 toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), o que equivale a 241 toneladas diárias. O RSU é composto pelos resíduos domiciliares (RDO), gerados pelas atividades domésticas de residências urbanas e os resíduos de limpeza pública (RPU), gerados em atividades de varrição e limpeza pública urbana (SNIS, 2019). Em Bauru, a Prefeitura também coleta RDO de algumas residências em área rural e resíduos sólidos com características de domiciliares originários de estabelecimentos públicos, de prestação de serviços, comerciais e industriais (BAURU, 2014).

Do total de RSU coletados, 86.047 toneladas são de RDO (97,7%) e 2.039 toneladas de RPU (2,3%). Os RDO são coletados pela coleta regular porta-a-porta que atinge 100% da população urbana e tem frequência de 3 vezes na semana nos bairros e diária na região central (SNIS, 2019). Um único estudo gravimétrico conduzido sobre os RSU de Bauru foi realizado em junho e julho de 2012 no antigo aterro municipal, hoje encerrado para disposição de resíduos. Dentre outras classificações, o estudo constatou que 37,27% dos resíduos presentes no aterro era matéria orgânica e 33,77% de outros materiais recicláveis secos, sendo 16,04% papéis, 15,43% plásticos, 1,41% vidros e 0,89% metais (BAURU, 2014). Em uma estimativa mais recente, o poder público municipal calcula que 40 a 50% dos resíduos sólidos domésticos são materiais como papel, papelão, vidro, metais e plásticos (SEMMA, 2019).

Rutkowski e Rutkowski (2017) elaboraram uma classificação para os atores de cada elo da cadeia de suprimentos da reciclagem do papel e do plástico. Essa classificação foi utilizada nessa tese, pois considerou-se que pode ser aplicada a todos os materiais recicláveis de maneira genérica. As classes são descritas na Tabela 10, composta também por uma última coluna que enquadra os atores atuantes em Bauru de acordo com as classificações descritas.

Os atores da cadeia de suprimentos da reciclagem são divididos em 3 classes principais: os recuperadores, os revalorizadores e os transformadores. Os recuperadores são aqueles que desviam os materiais recicláveis dos resíduos não recicláveis e que terão outro tipo de destinação. Os revalorizadores são as indústrias que transformam o material reciclável em matéria-prima secundária e os transformadores são as indústrias que fabricam produtos a partir da matéria-prima secundária (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2017).

Nota-se que a organização dos atores nos elos da cadeia da reciclagem em Bauru é muito semelhante à classificação sugerida por Rutkowski e Rutkowski (2017), que visou expressar o cenário brasileiro. A única distinção encontrada foi com relação aos comércios de recicláveis que em Bauru, além de pertencerem a classe REC T2, que compram os materiais pré-selecionados, eles também pertencem a classe REC T1, pois coletam resíduos diretamente dos geradores, como condomínios residenciais e pequenos comércios.

Tabela 10: Classificação e descrição dos atores atuantes na cadeia de reciclagem

| Classificação | Descrição | Encontrados em Bauru: |
|---|---|---|
| Recuperadores (REC): São aqueles que recuperam o material reciclável do *"lixo"* | Tipo 1 (REC T1): coletam os resíduos misturados diretamente dos geradores (grandes geradores ou domésticos) e executam a primeira triagem. Exemplos: Associações e Cooperativas de catadores, os catadores independentes e unidades de triagem municipais. | Prefeitura; cooperativas de catadores; catadores informais; comércios de recicláveis |
| | Tipo 2 (REC T2): compram material pré-selecionado, podendo executar uma triagem secundária. Exemplos: atravessadores, ferros velhos, depósitos, sucateiros e aparistas. | Comércios de recicláveis; comerciantes intermediários |
| Revalorizadores (REV): | Indústrias que transformam o material selecionado em matéria prima para outras indústrias, podendo realizar uma triagem ainda mais fina. Enquadram-se aqui as indústrias produtoras de *pellets*/grãos e flocos/*flakes* a partir de plásticos reciclados e as fábricas produtoras de bobinas de papel que alimentam a indústria de embalagens de papel. | 5 empresas revalorizadoras/transformadoras e transformadoras de plástico. O restante dos materiais é reciclado em outros municípios |
| Transformadores (TRANS): | Indústrias que fabricam produtos de papel e plástico a partir de matéria prima secundária produzida com material revalorizado. | |

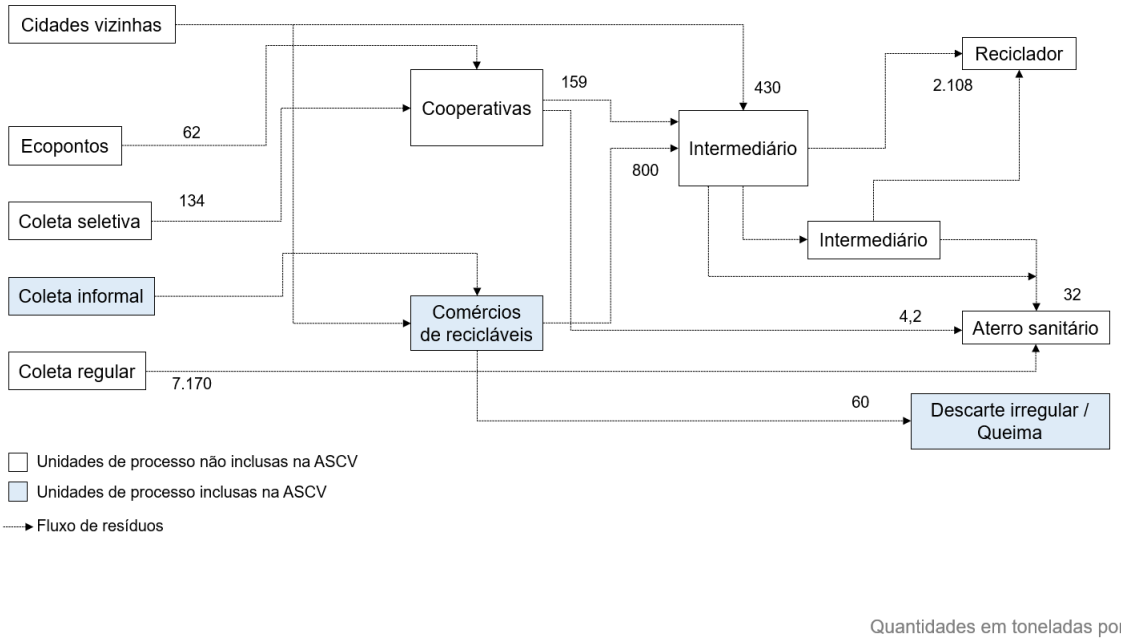
Fonte: Adaptado de Rutkowski e Rutkowski (2017).

Na classe revalorizadores e transformadores foram encontradas em Bauru apenas 5 empresas recicladoras de plástico de pequeno porte, que por não necessitarem de grandes quantidades de materiais para sua produção, muitas vezes preferem comprar diretamente dos comércios de recicláveis (REC T1) para pagar um preço menor nos materiais. Por isso, os intermediários (REC T2) de plástico vendem seus materiais para grandes revalorizadoras e transformadoras, predominantemente localizadas em outras cidades. Também houve

consulta à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) para verificar a existência de empresas revalorizadoras e transformadoras em Bauru. A consulta retornou o mesmo resultado da pesquisa de campo: que existem apenas algumas empresas recicladoras de plástico no município. Nessa pesquisa não foi possível fazer a diferenciação entre as empresas revalorizadoras e transformadoras, por isso foi utilizado o termo recicladora para se referir a ambas.

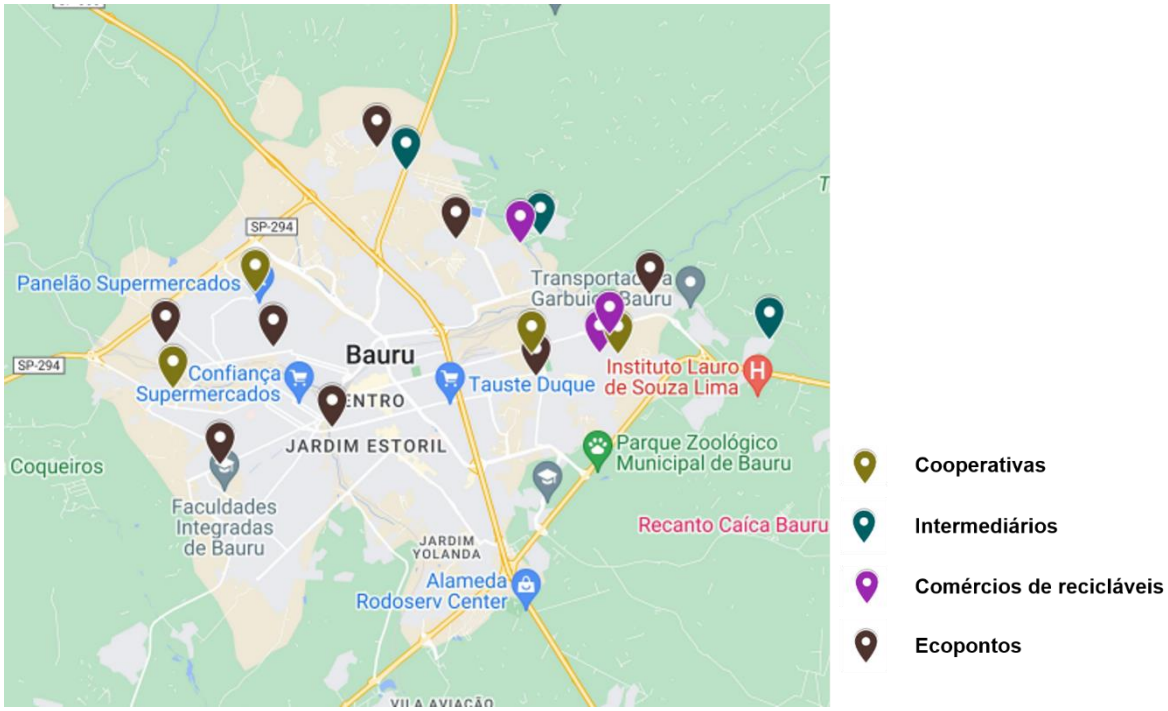
A seguir, é apresentada a estrutura do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRISU) de Bauru, incluindo a atuação do setor formal e informal de reciclagem em Bauru. O Fluxograma apresenta as estimativas dos fluxos em massa (toneladas) de resíduos movimentada por mês por cada processo elementar(ou ator do SGRISU), construída a partir das informações coletadas em campo e da literatura (Figura 2). A Figura 3 apresentada, mostra um mapa da cidade de Bauru, com a localização dos Ecopontos, das quatro cooperativas de reciclagem, dos comércios de recicláveis e intermediários mapeados, nota-se que o mapa não contém todos os comércios e intermediários atuantes no município, apenas os que foram entrevistados durante a pesquisa (sua localização exata e nome não são divulgados por confidencialidade assegurada aos participantes).

Figura 2: Vista geral do Sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRISU) de Bauru, SP.




Fonte: Elaborado pela autora

Figura 3: Localização geográfica dos atores mapeados da cadeia da reciclagem de Bauru, SP.




Fonte: elaborado pela autora

### 5.1.1 Coleta seletiva

A coleta seletiva de resíduos sólidos recicláveis é realizada pela EMDURB - Empresa Municipal de Desenvolvimento Urbano e Rural de Bauru, uma autarquia municipal dotada de personalidade jurídica de direito privado. Abrange 70% da população urbana na modalidade porta-a-porta com periodicidade diária na região central e uma vez por semana nos bairros (BAURU, 2014; SNIS, 2019). No mês de outubro de 2019 foram coletadas seletivamente 134,39 toneladas de resíduos (SEMMA, 2019). Isso equivale a 4,5 toneladas de resíduos (1,8% do total) sendo desviados da disposição final em aterros graças a coleta seletiva oficial. Esse percentual é um pouco menor que o registrado para o Brasil, de 2,2% em 2020 (BRASIL, 2022).

Outra modalidade de coleta seletiva existente no município é a entrega voluntária em pontos espalhados pela cidade. Os munícipes podem levar seus recicláveis até um dos 8 Ecopontos distribuídos pela cidade, que recebem também resíduos volumosos (sofás, móveis e etc.), eletroeletrônicos, pequenas quantidades de resíduos de construção e demolição (até 1m³ a cada 120 dias) e resíduos de poda e capina.

Até outubro de 2019, os Ecopontos eram administrados pela SEMMA. A partir de novembro de 2019, a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Bauru (ASCAM) passou a ser responsável pela gestão dos Ecopontos. Os resíduos recebidos pelos Ecopontos

são distribuídos entre as cooperativas de catadores de materiais recicláveis do município. Em outubro de 2019, os ecopontos em conjunto receberam um total de 62 toneladas de resíduos recicláveis (SEMMA, 2019) que, somados ao da coleta porta-a-porta eleva a quantidade desviada de aterro para mais de 196 toneladas no mês, ou 6,5 toneladas diárias e 2,7% de reaproveitamento graças à coleta seletiva formal.

### 5.1.2 Catadores Informais

Além da coleta seletiva realizada pelo poder público, há no município a atuação do setor informal de reciclagem (BAURU, 2014). Os dados sobre a quantidade de catadores informais no município são imprecisos. De acordo com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), existiam aproximadamente 1.000 catadores informais no município (SEMMA, 2019). Já os dados de 2013 da Secretaria de Bem-Estar Social (SEBES) apontavam para 797 catadores informais cadastrados voluntariamente no Centro de Referência da Assistência Social – CRAS (BAURU, 2014). E em nova consulta realizada à SEBES, em junho de 2020, resultou que existem 340 catadores informais registrados voluntariamente no Cadastro Único. Percebe-se que há carência de dados precisos sobre a quantidade de catadores informais no município.

A cadeia de reciclagem informal se inicia com os catadores autônomos/informais, também conhecidos localmente como “carrinheiros”. Eles coletam os materiais recicláveis que poderão ser comercializados. Percebeu-se que os catadores coletam materiais que estão acondicionados nas calçadas aguardando a coleta regular de resíduos; ou que estão dispostos nas ruas e terrenos baldios irregularmente; que são doados por pequenos comércios; ou por moradores que separam os materiais para o catador.

A partir das entrevistas e observação em campo, foi possível separar os catadores informais em dois grandes grupos de perfis:

- Um grupo composto normalmente por pessoas de maior idade que estão aposentadas e trabalham como catadores para complementar a renda; pessoas que por diversos motivos não conseguem oportunidade de trabalho no mercado de trabalho formal; e pessoas que fazem outros tipos de trabalho, mas têm na coleta de recicláveis uma fonte de complementação de renda. Esse grupo costuma utilizar carrinhos confeccionados por eles mesmos (de madeira e sucata) para coletar os materiais. Muitos costumam armazenar os materiais coletados em casa

até juntarem um volume maior para separar e vender a um preço maior para os comerciantes de recicláveis, mas alguns também vendem os materiais no mesmo dia que o coletam.

- Outro perfil de catadores é composto por pessoas possuem algum tipo de dependência química e/ou são moradores de rua. Nesse grupo existem:
    - os catadores que, normalmente, estão o tempo todo atentos no seu trajeto se encontram algo que eles possam vender. Carregam os materiais que recolhem na mão, em sacos ou carrinhos de supermercados. Eles visam os materiais que possuem maior valor (alumínio, cobre e PET) e costumam vender poucas quantidades de materiais várias vezes por dia.
    - E os catadores que emprestam carrinhos dos ferros-velhos e em troca eles vendem os materiais que coletaram naquele dia de trabalho para o ferro-velho. Os ferros-velhos que fazem isso costumam pagar um preço menor pelos materiais. Esses catadores não têm vínculo, muitas vezes trabalham o suficiente para encher o carrinho e ganhar o dinheiro para gastar no dia.

Os catadores informais dão preferência para coletar materiais que eles sabem que serão vendidos, para não dispenderem tempo e energia carregando resíduos que não serão vendidos, por isso não foi considerada a geração de rejeitos para esses atores.

Eles vendem seus materiais recicláveis para pequenos comércios de recicláveis. Fazem parte dessa classe: os sucateiros e ferros-velhos. Notou-se que, no município, a principal diferença entre os dois é que no sucateiro predominam materiais como papéis, plásticos, vidros e alumínio e no ferro-velho predominam alumínio, metais ferrosos e materiais mais volumosos. Entretanto, os dois comercializam todos os tipos de materiais e muitas vezes acabam sendo sinônimos.

### 5.1.3 Cooperativas

Os resíduos recicláveis oriundos da coleta seletiva e dos Ecopontos são administrados pela Associação de Catadores de Materiais Recicláveis (ASCAM) e distribuídos igualmente para as 4 cooperativas atuantes no município (Coopeco, Cooperbau, Cootramat e Eco Recicla), que juntas contam com 89 cooperados (SNIS, 2019). Nas

cooperativas os resíduos são triados, enfardados e vendidos para os intermediários, assim como os materiais oriundos dos comércios de materiais recicláveis. Percebe-se que a formação da cooperativa e/ou associação de catadores de materiais recicláveis, possibilita que os catadores ganhem escala para comercializar seus materiais recicláveis diretamente com os intermediários, ao contrário do que acontece com os catadores informais que vendem os materiais para os comércios de recicláveis (como será apresentado a seguir).

Em novembro de 2019, quando iniciou a parceria entre a ASCAM e a SEMMA, começaram a divulgação dos registros de materiais que são gerenciados pela ASCAM. Nesse mês foi comercializado um total de 159,65 toneladas de materiais recicláveis, sendo 49% papel e papelão, 21% vidro, 15% plástico, 14% metal e 1% alumínio (Tabela 11).

A ASCAM estima que 5% de todo os materiais recicláveis recebidos viram rejeitos após a triagem. Há uma diferença entre o total recebido em um mês e o vendido, pois ocorre de venderem materiais que ficaram estocados dos meses anteriores (ASCAM, 2019).

Tabela 11: Dados do relatório ASCAM sobre as quantidades de materiais recebidas e vendidas no mês de novembro de 2019.

| Tipo de Material comercializado | Massa em toneladas | Porcentagem |
|---|---|---|
| Papel | 78,02 | 48,87% |
| Vidro | 33,79 | 21,17% |
| Plástico | 24,31 | 15,23% |
| Metal (sucata) | 22,61 | 14,16% |
| Alumínio | 0,89 | 0,56% |
| Outros | 0,03 | 0,02% |
| Total em peso comercializado | 159,65 | 100% |
| Total Recebido | 83,11 | - |
| Rejeitos | 4,16 | 5% |

Fonte: Elaborado pela autora com base em ASCAM (2019)

### 5.1.4 Comércios de materiais recicláveis

Os comerciantes de materiais recicláveis possuem um local físico e fixo, onde compram os materiais, separam por tipo de acordo com a necessidade do comprador, enfardam (caso tenham prensa) e revendem para comércios maiores (intermediários). Os comércios que possuem veículo (caminhões ou caminhonetes) se deslocam pelo bairro onde está localizado e, dependendo da quantidade de material a ser retirada, pela cidade como um todo e até em municípios vizinhos, para comprar/retirar os materiais. Já os que não possuem veículo compram apenas de pessoas, na maioria das vezes catadores, que vão até o estabelecimento para vendê-los.

Os comércios de recicláveis obtém resíduos de catadores, pequenos comércios, condomínios (vertical e horizontal), empresas, pessoas físicas (moradores), dentre outros atores. Na maioria das vezes eles compram os resíduos, mas há casos em que recebem doação, principalmente quando se trata dos condomínios residenciais.

Na consulta à base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério da Economia, que buscou encontrar estabelecimentos que comercializam materiais recicláveis na cidade de Bauru, o resultado foi que existem apenas 26 estabelecimentos cadastrados sob o código de Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE de “Comércio Atacadista de Resíduos e Sucatas”, com um total de 176 funcionários (MET, 2020). Desse número não é possível diferenciar quantos são pequenos comércios e quantos são comércios maiores caracterizados como intermediários. Como uma das características da informalidade é a falta de registros, não há como saber o número exato de comércios de recicláveis no município.

Na pesquisa de campo exploratória, foram entrevistados 3 comerciantes de recicláveis. Juntos, comercializavam mensalmente 86,77 toneladas de materiais recicláveis, cerca de metade do comercializado pelo total das cooperativas de Bauru. Dos 3 entrevistados, apenas 1 relatou coletar materiais em cidades vizinhas e este foi o que possuía um volume maior de material (53,87 toneladas mensais), enquanto os outros 2 apresentaram 17,8 e 15,1 toneladas mensais.

Com relação às porcentagens dos tipos de materiais vendidos (Tabela 12), nota- se que uma menor participação dos materiais vidro e maior participação de metais e plásticos, se comparado com as porcentagens comercializadas pelas cooperativas de materiais

recicláveis que são: sendo 49% papel e papelão, 21% vidro, 15% plástico, 14% metal e 1% alumínio (Tabela 11).

Tabela 12: Quantidades e tipo de materiais recicláveis comercializado pelos comércios de recicláveis e geração de rejeitos em um mês.

| Tipo de Material comercializado | Massa em toneladas | Porcentagem |
|---|---|---|
| Plástico | 29,50 | 34% |
| Papel e papelão | 29,00 | 33% |
| Metais | 18,00 | 21% |
| Vidro | 7,60 | 9% |
| Alumínio | 2,60 | 3% |
| Total em peso comercializado | 86,7 | 100% |
| Total Recebido | 93,2 | - |
| Rejeitos | 6,5 | 7,5% |

Fonte: elaborado pela autora.

Vale ressaltar que a unidade usada foi mensal, mas é mais comum que a venda dos materiais seja feita semanalmente para os materiais com maior giro e a cada 15/20 dias para materiais com menor giro. Já os que são de difícil venda são estocados e vendidos mensalmente ou até por um intervalo de tempo maior, ou doado para outro ator que tenha maior espaço físico para armazenar.

Em alguns casos existe uma certa vinculação entre catadores informais e comércios de recicláveis. Alguns comércios de recicláveis cedem equipamentos (como carrinho de mão) para os catadores coletarem os resíduos e depois venderem os mesmos a eles e quando isso ocorre costumam pagar um preço um pouco menor. O mesmo foi notado na cidade de São Paulo (São Paulo, 2013). Outros catadores acabam estabelecendo uma relação de confiança com os donos de comércios de recicláveis e criam o hábito de acumular os resíduos em casa, com uma data combinada para o comerciante ir até o local com caminhão retirar os resíduos.

Sobre a geração e descarte de rejeitos, percebeu-se que os atores (principalmente os catadores informais e comércios de recicláveis) ficam receosos em dizer que despejam resíduos em locais inadequados e/ou realizam queima dos mesmos. Os que dizem que realizam a prática não sabem dizer a quantidade de rejeitos que vão para esses destinos. Percebeu-se ainda, que o volume de rejeitos é maior quando o ator recebe doação de resíduos e precisa coletar todos os resíduos do local. Por exemplo, quando o comércio de recicláveis coleta resíduos de condomínios por doação, ele precisa coletar todos os materiais recicláveis. Já quando ele compra os materiais, há uma separação maior daqueles que têm maior valor e saída para o mercado, daqueles que provavelmente virarão rejeitos.

Apurou-se com um comércio de recicláveis que quando os materiais são coletados na primeira situação há uma estimativa de 15% de rejeitos, enquanto que no segundo caso, os rejeitos são em torno de 5%, por isso adotou-se um valor intermediário a esses de rejeitos gerados pelos comércios de recicláveis, equivalente a 7,5%.

### 5.1.5 Intermediários

Os intermediários são comerciantes de recicláveis, constituídos como empresas, que possuem maior estrutura física, maquinários e funcionários, o que permite que eles trabalhem com uma maior quantidade em massa e volume de materiais. Normalmente, eles se especializam em uma ou duas classes de materiais e, por conseguirem trabalhar em maior volume desses materiais, vendem diretamente para a empresa recicladora. Os outros materiais que não são a especialidade do intermediário acabam sendo comprados juntamente com os materiais que são especialistas, para fidelizar o cliente fornecedor, e são comercializados com outros intermediários, por gerarem menor fluxo em volume. Os intermediários possuem forte atuação também em municípios vizinhos para a compra de materiais e até em outros Estados para a venda dos mesmos.

Os intermediários possuem baixa taxa de rejeito. Todos disseram que só compram o que conseguem vender. Somente um intermediário relatou taxa de rejeito de 2 a 3%, que são enviados para o aterro sanitário. Adotou-se o valor de 2,5% de rejeitos como um valor médio para os intermediários.

Durante a pesquisa de campo exploratória (método descrito no item 4.1) foram entrevistados três intermediários que atuam principalmente com papel, plástico e alumínio (Tabela 13). Se adotarmos que em Bauru existam 26 intermediários, que foram os estabelecimentos encontrado através da consulta na base RAIS, tem-se que foram entrevistados 11,5% dos intermediários atuantes no município. No total eles comercializam 2.108 toneladas mensais de resíduos recicláveis. Esse valor foi obtido excluindo a massa que é comercializada entre os intermediários. As quantidades totais de materiais recicláveis comercializadas mensalmente por cada um deles é mostrada na Tabela 14.

Tabela 13: Tipos de materiais que cada intermediário trabalha

| | Nome do intermediário | Principais materiais que trabalha | Número de materiais que trabalha |
|---|---|---|---|
| 1 | Intermediário 1 | Papelão, papel e plásticos finos | 16 |
| 2 | Intermediário 2 | PET, PEAD, alumínio | 12 |
| 3 | Intermediário 3 | PET, PEAD e outros plásticos rígidos | 12 |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 14: Quantidade de materiais recicláveis (em toneladas) vendidos pelos intermediários por mês.

| Nome do intermediário | Massa vendida | Massa descontada | Massa comercializada menos a descontada |
|---|---|---|---|
| Intermediário 1 | 1.325,00 | 18[2] | 1.307,00 |
| Intermediário 2 | 411,43 | 4,4[1] | 407,00 |
| Intermediário 3 | 453,00 | 58,5[2] | 394,50 |
| Total | | | 2.108,5 |

[1] massa que vem da empresa (transportadora) e vai pra Intermediário 1 igual à 1%

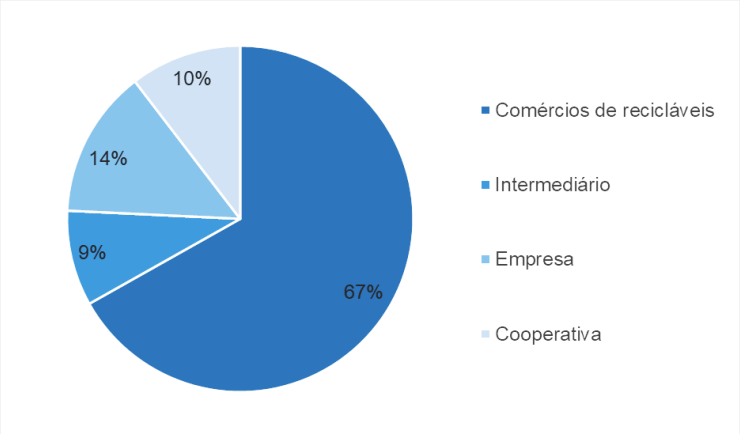
[2] Dado referente à massa que um intermediário declarou vender para outro

Fonte: elaborado pela autora

A partir dos dados de materiais comercializados pelos intermediários foi possível estimar quanto desse material provêm do setor informal. Para isso, foram descontadas as massas advindas de empresas e de cooperativas. Dos três intermediários entrevistados, os intermediários 2 e 3 relataram que quase a totalidade dos materiais que comercializam provêm de comércios de recicláveis. Destes, o intermediário 2 foi mais específico e detalhou que apenas o papelão e o plástico filme eram comprados de uma empresa transportadora e repassados para o intermediário 1 (esse valor já foi retirado dos cálculos na primeira etapa).

O intermediário 1 disponibilizou seus relatórios de pesagem da balança de 2 meses (outubro e novembro de 2019) e a partir desses dados foi possível especificar a porcentagem de materiais advindas de cada tipo de fornecedor (Figura 4). Nota-se que o intermediário 1 possui fornecedores mais diversificados, e que 67% dos materiais provêm de comércios de recicláveis, 14% de empresas, 10% de cooperativas, e 9% de outros intermediários.

Figura 4: Porcentagens de materiais oriundas de cada tipo de fornecedor para o Intermediário 1




Fonte: autoria própria

Se desconsideradas as massas oriundas de outros fornecedores que não sejam comércios de recicláveis é possível estimar que cerca de 1.232,8 toneladas/mês de resíduos sólidos recicláveis são recuperadas por comércios de recicláveis, que em maioria são coletados por catadores informais ou pelo próprio comércio sem nenhum reconhecimento do poder público, sendo caracterizado como setor informal pela definição de (SCHEINBERG *et al.,* 2010). Esse valor é 7,7 vezes maior que o obtido pela coleta seletiva formal de Bauru (Tabela 11).

Como relatado nas entrevistas com os intermediários, é comum que eles comprem resíduos recicláveis de cidades vizinhas, não sendo possível diferir a quantidade de materiais advindos do município de Bauru daqueles originários de outros municípios. Porém, sabe-se que os intermediários estabelecem um limite de distância de atuação para compra de até 100km para compensar o custo da viagem. Assim, para elucidar mais sobre a diferença entre a quantidade coletada pela prefeitura de Bauru e a quantidade coletada pelo setor informal, calculou-se esses valores relativizados à quantidade de habitantes atendidos (kg/hab./mês). Os dados sobre municípios distantes 100km de Bauru e a população abrangida foram retirados do *web site "emsampa"* (SÃO PAULO SEM SEGREDOS, 2020).

Essa análise é apresentada na Tabela 15, onde percebe-se que no setor formal a massa recuperada por habitante é de 0,46 kg/hab./mês e no setor informal é de 0,88 kg/hab./mês. Portanto, mesmo quando os valores coletados são relativizados com relação à população potencialmente atendida pelos dois sistemas (formal e informal) o setor informal coleta e insere na cadeia da reciclagem o dobro da quantidade do setor formal, por habitante.

Tabela 15: Dados de massa recuperada dos setores formal e informal com relação à população dos municípios de atuação.

| Sistema da cadeia da reciclagem | Massa recuperada (em toneladas/mês) | População dos municípios abrangidos (em habitantes) | Massa recuperada referente à população abrangida (em kg/habitantes/mês) |
|---|---|---|---|
| Formal | 160 | 343.937 | 0,46 |
| Informal | 1.233 | 1.391.623 | 0,88 |

Fonte: elaborado pela autora

Considerando como uma estimativa baseada no trabalho de campo, que 35% dos resíduos comercializados pelos intermediários são oriundos de cidades vizinhas, obtém-se que o setor informal de Bauru desvia do aterramento 5 vezes mais resíduos (800 toneladas) que o setor formal da cidade (160) e ainda faz com que mais de 430 toneladas de resíduos gerados em outras cidades sejam encaminhadas para a reciclagem. Ainda, somando-se as

800 toneladas do setor informal com as 160 do setor formal, tem-se que Bauru desvia quase 32 toneladas de resíduos do aterramento a cada dia, o que confere uma taxa de 13,3%, próxima à meta que o governo federal estipula para o Brasil de aumentar a coleta seletiva para 13,8% em 2024 (PLANARES, 2022).

Entretanto, esses valores servem apenas como um apontamento da relevância do setor informal nesse cenário, já que não são precisos e absolutos, haja vista que a estimativa desconsidera diversos fatores como por exemplo outros intermediários e a coleta seletiva atuantes na mesma abrangência geográfica. Outro ponto de imprecisão para esses cálculos é que não é garantido que esses resíduos sejam classificados como resíduos domésticos. Eventualmente, esses resíduos são obtidos em oficinas mecânicas e pequenas indústrias e não entrariam nas contas da geração de responsabilidade do Poder Público Municipal.

### 5.1.6 Características dos materiais recicláveis e da cadeia da reciclagem

Sobre os materiais comercializados, percebeu-se que são denominados pelos trabalhadores locais de forma diferente do encontrado em literaturas técnicas, como por exemplo o plástico PEAD que é chamado de garrafinha. Notou-se também que conforme o material avança na cadeia de suprimentos seu grau de separação e valor aumentam, como apontado por Wilson *et al.* (2009) e Rutkowski e Rutkowski (2017). Na Tabela 16 são apresentados os preços máximos e mínimos de cada tipo de material e a variação do valor constatado no início da cadeia (quando os comerciantes compram dos catadores autônomos) e no final da cadeia (quando os intermediários vendem para os revalorizadores e/ou recicladores) praticada em outubro de 2019 na cidade de Bauru. Nota-se a valorização em mais de 100% para todos os materiais.

Os materiais recicláveis precisam estar compatíveis com as exigências da indústria recicladora e, caso não estejam, o valor é menor e muitas vezes ele não é nem aceito para venda. Em geral os valores dos materiais variam conforme o nível de separação, pureza e volume (quantidade) do material. Quando está misturado com outros vale menos que separado; sujo e/ou com umidade vale menos do que limpo; pouca quantidade vale menos do que grande quantidade; e também enfardado vale mais do que solto; quanto menos trabalho o intermediário tiver para revender aquele material ao reciclador, maior será seu valor (preço). Esta é a razão para o fato de que os materiais costumam ter um preço máximo e mínimo no mesmo elo da cadeia, pois variam conforme essas características apresentadas.

No geral, alguns materiais são bem valorizados no mercado de reciclagem. Isso quer dizer que possuem maior preço de venda e maior facilidade/fluxo de venda, como papelão, PET, cobre e alumínio. Já outros são de difícil venda (embalagens mistas como de salgadinhos, garrafa de leite branca e preta por dentro, poliestireno –PS e EPS – poliestireno expandido/Isopor). Esses materiais são comprados pelos sucateiros e intermediários apenas para não perder o cliente fornecedor. Foi unânime entre entrevistados o relato que nesse setor o lucro se dá por meio de centavos, sendo necessário juntar uma quantidade muito grande para viabilizar a reciclagem. Cada ator precisa aplicar um preço competitivo com o mercado para compra e para venda, pois o preço final é estipulado pela recicladora, que é influenciado pela economia global e pela demanda do setor produtivo, de acordo com o que apontou o Banco de Desenvolvimento da Ásia (em inglês: *Asian Development Bank,* 2013).

Os destinos dados aos materiais comercializados em Bauru são variados, mas a grande maioria tem como destino outras cidades. Apenas uma parte dos plásticos PP e PEAD são reciclados no próprio município. Outros tipos de plásticos são enviados para recicladoras no próprio Estado de São Paulo. Já o papel e o papelão têm como destino diversos recicladores nos Estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Na Tabela 17 são apresentadas as cidades de destinos e a classificação dos destinatários para de cada tipo de material comercializado. Para a classificação do tipo do destinatário foi utilizada a denominação: intermediário e reciclador, este último faz referência tanto às empresas que revalorizam o material reciclável em matéria-prima secundária (ex. empresas que produzem grãos e flocos de plásticos) e/ou empresas da indústria da transformação, ou seja, fabricam produtos a partir da matéria-prima secundárias.

Tabela 16: Preços dos materiais recicláveis no início e final da cadeia de valor em outubro de 2019 na cidade de Bauru.

| Material | | Início da cadeia R$ | | Variação | Final da cadeia R$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Mín. | Máx. | | Mín. | Máx. |
| Papel / Papelão | Papelão | 0,25 | SD | 132% | 0,58 | 0,63 |
| | Cartão | 0,25 | SD | 120% | 0,55 | SD |
| | Cimento | 0,10 | SD | 400% | 0,50 | SD |
| | Jornal | 0,25 | SD | 240% | 0,85 | SD |
| | Revista | 0,25 | SD | 160% | 0,65 | SD |
| | Papel branco | 0,25 | SD | 140% | 0,60 | SD |
| | Longa Vida | 0,10 | SD | 250% | 0,35 | SD |
| Plástico | PET verde ou transparente | 0,70 | 1,20 | 186% | 2,00 | 2,30 |
| | PET óleo | 0,30 | 0,40 | 300% | 1,20 | SD |
| | Filme - transparente canela | 0,70 | SD | 129% | 1,60 | SD |
| | Filme - colorido | 0,20 | SD | 200% | 0,60 | SD |
| | Plástico Preto filme | 0,20 | SD | 250% | 0,70 | SD |
| | EVA | 0,70 | SD | - | SD | SD |
| | PP - Rígido (balde/bacia) | 0,50 | 0,60 | 120% | 1,20 | SD |
| | PP Branco | 0,50 | 0,60 | - | SD | SD |
| | PP Preto | 0,50 | 0,60 | - | SD | SD |
| | PP Colorido | 0,50 | 0,60 | - | SD | SD |
| | PEAD - branco | 0,90 | 1,00 | 111% | 1,90 | SD |
| | PEAD - colorido | 0,90 | 1,00 | 111% | 1,90 | SD |
| | PS | 0,10 | SD | - | SD | SD |
| | PVC (cano) | 0,30 | 0,40 | - | SD | SD |
| | Isopor (EPS) | 0,10 | SD | - | SD | SD |
| Metal | Alumínio lata | 3,30 | 3,50 | - | SD | SD |
| | Alumínio - chaparia | 2,50 | SD | - | SD | SD |
| | Alumínio bloco | 1,00 | 1,50 | - | SD | SD |
| | Alumínio panela | 3,30 | 3,40 | - | SD | SD |
| | Geral - Sucata | 0,20 | SD | - | SD | SD |
| | Cobre | SD | 14,00 | - | SD | SD |
| Vidro | Caco | 0,05 | 0,06 | - | SD | SD |
| | Peça | 0,05 | 0,06 | - | SD | SD |

SD – Sem Dados; PET - politereftalato de etileno; EVA -Etileno-vinil-acetato; PP - polipropileno; PEAD - polietileno de alta densidade; PS – poliestireno; PVC - Policloreto de vinila. Dados referentes ao mês de outubro/novembro de 2019 (dólar no período era US$ 4,10).

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 17: Destino dos materiais comercializados

| Materiais | | Destino | |
|---|---|---|---|
| | | Cidade/Estado | Tipo |
| Papel / Papelão | Papelão | SP; PR; SC | Reciclador |
| | Cartão | MG | Intermediário |
| | Cimento | Paraná | Reciclador |
| | Jornal | Paraná | Reciclador |
| | Revista | Paraná | Reciclador |
| | Papel branco | Rio Claro SP | Intermediário |
| | Tetra Pak | PR | Reciclador |
| Plástico | PET | São Carlos | Reciclador |
| | PET óleo | São Carlos | Reciclador |
| | Filme - transparente | Votuporanga; Birigui; Araraquara; Paulínia; outros em SP | Reciclador |
| | Filme - colorido | PR; SC; Votuporanga; Birigui; Araraquara; Paulínia | Reciclador |
| | Plástico Preto filme | Lins; Votuporanga; Birigui; Araraquara; Paulínia | Reciclador |
| | EVA – fino | SP | Intermediário |
| | PP – Filme | Sul | Intermediário |
| | PP - Rígido | Bauru; Pederneiras; Boituva | Reciclador |
| | PP – Ráfia | Jaú | Reciclador |
| | | Santa Cruz; Pederneiras | Intermediário |
| | PEAD | Bauru | Intermediário |
| | | Bauru; Saltinho; Araras | Reciclador |
| | PS | Pederneiras | Intermediário |
| | PVC (cano) | Pirajuí | Intermediário |
| | | São Jose do Rio preto | Reciclador |
| Metal | Sucata - ferrosa | Bauru | Intermediário |
| | Alumínio lata | Marília | Intermediário |
| | Cobre | Marília | Intermediário |
| | Torneira/peça | Marília | Intermediário |
| Vidro | Caco | Bauru, Jaú | Intermediário |

Fonte: elaborado pela autora

## 5.2 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

Como explicado no item “4.2 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida” a ASCV é composta pelas ACV, CCV e ACV-S desenvolvidas separadamente e interpretadas de forma conjunta. Por esta razão, a seguir são desenvolvidos um item para apresentar os resultados de cada avaliação de impacto e outro item dedicado à interpretação.

### 5.2.1 Avaliação do ciclo de vida – ambiental

Os dados de inventário do comércio de recicláveis e dos catadores informais são apresentados na Tabela 18. Os dados de inventário do ciclo de vida são compostos pelas entradas e saídas das etapas de coleta, processamento, descarte de rejeitos e a quantidade de matéria-prima virgem substituída pela reciclada calculados conforme explicado na modelagem da ASCV (ver Figura 1 – Sistema de Produto).

Tabela 18: Inventário de entradas e saídas referente a cada processo elementar por unidade funcional.

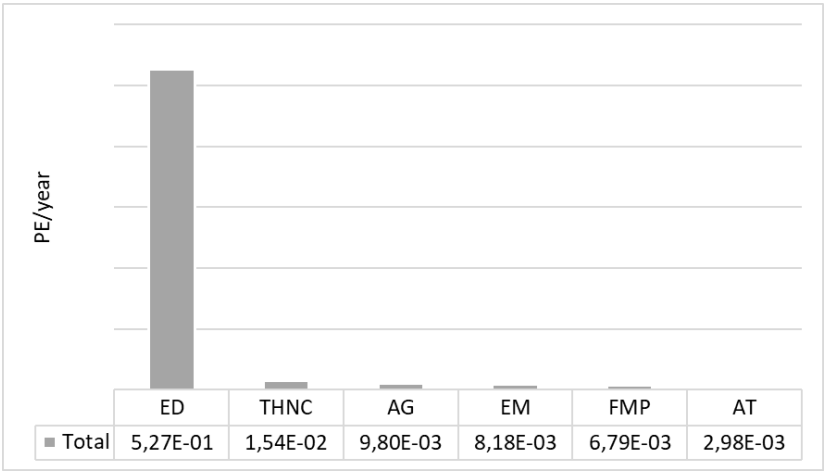
| Fluxos | Un. | Coleta informal | Comércio de Recicláveis | Fonte do dado |
|---|---|---|---|---|
| *Entradas* | | | | |
| **Matérias** | | | | |
| Água | kg | N/A | 241,32 | Calculado |
| Fitilho | kg | N/A | 1,65 | Martin *et al.* (2021) |
| **Energia** | | | | |
| Eletricidade | kWh | N/A | 8,63 | Calculado |
| Óleo lubrificante (prensa) | kg | N/A | 0,11 | Estimado |
| **Serviços** | | | | |
| Transporte coleta (caminhão) | tkm | N/A | 14,66 | Calculado |
| Transporte coleta (veículo leve) | tkm | N/A | 7,44 | Calculado |
| Transporte rejeitos (caminhão) | tkm | N/A | 2,48 | Estimado |
| *Saídas* | | | | |
| **Matérias** | | | | |
| Rejeitos: queima a céu aberto | ton. | N/A | 0,04 | Calculado |
| Rejeitos: disposição a céu aberto | ton. | N/A | 0,04 | Calculado |
| Efluente | m³ | N/A | 0,16 | Estimado |
| *Evitados* | | | | |
| **Matérias** | | | | |
| Papelão | ton. | 0,137 | | Estimado |
| Papel | ton. | 0,069 | | Estimado |
| PET | ton. | 0,036 | | Estimado |
| PEAD | ton. | 0,038 | | Estimado |
| PP | ton. | 0,021 | | Estimado |
| Plástico filme | ton. | 0,113 | | Estimado |
| PVC | ton. | 0,004 | | Estimado |
| EPS | ton. | 0,006 | | Estimado |
| Aço | ton. | 0,170 | | Estimado |
| Alumínio | ton. | 0,012 | | Estimado |
| Vidro | ton. | 0,111 | | Estimado |

Fonte: elaborado pela autora

Os resultados da Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) são apresentados na Figura 5 e Tabelas 27 e 28 (em apêndice). A Tabela 29 (em apêndice) e Figura 6 a seguir, mostram a contribuição de cada processo do sistema nas categorias de impacto avaliadas e a Figura 7 representa os resultados normalizados da avaliação de impacto levando em consideração as emissões evitadas com a produção de matéria-prima devido à reinserção dos materiais recicláveis no ciclo produtivo. De maneira geral, percebe-se que o descarte

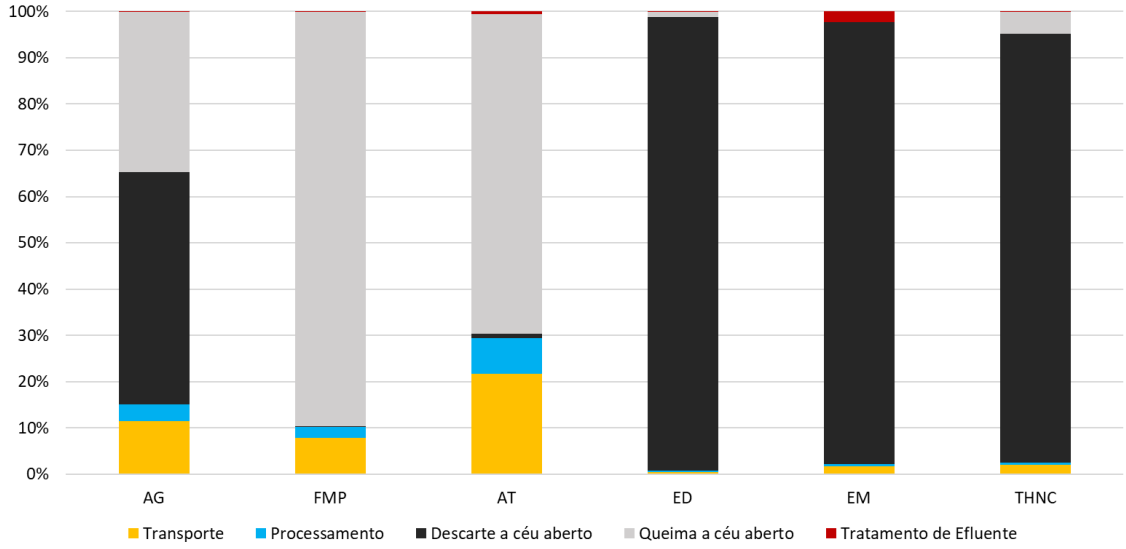
irregular de rejeitos a céu aberto e a queima a céu aberto são os maiores contribuintes em todas as categorias de impacto analisadas. A coleta e transporte dos resíduos aparece em segundo lugar, seguido pelo processamento dos materiais recicláveis (triagem, enfardamento e armazenamento). E que, quando consideradas as emissões evitadas, são capazes de compensar as emissões do sistema de forma que ele apresenta contribuição negativa em todas as categorias de impacto analisadas. Para o cálculo as emissões de longo prazo não foram desconsideradas.

Figura 5: Representação gráfica dos resultados normalizados por categoria de impacto - modelo ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.06 / World (2010) H.



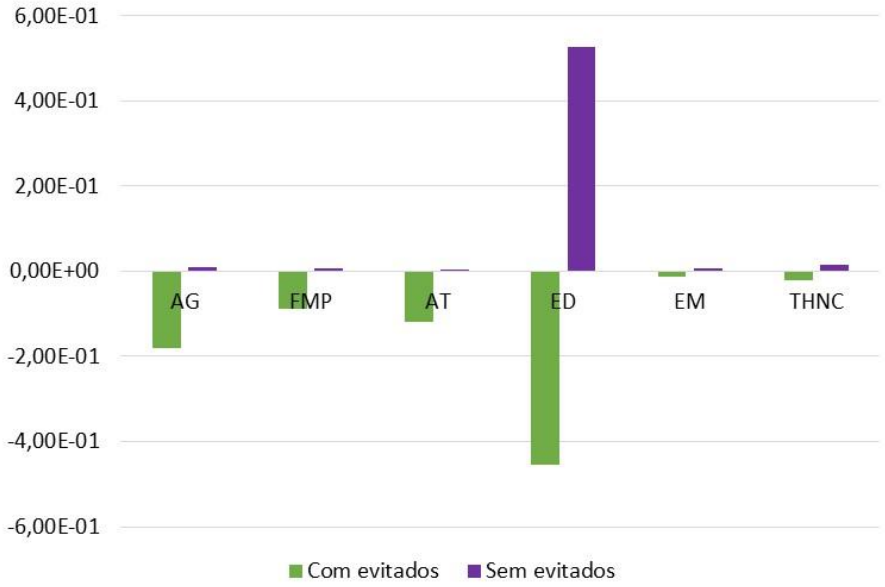

AG - Aquecimento global; FMP - Formação de material particulado fino; ED - Eutrofização de águas doces; EM - Eutrofização marinha; AT - Acidificação terrestre; THNC - Toxicidade humana não-carcinogênica
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 6: Gráfico da contribuição das etapas de processos do sistema para cada categoria de impacto analisada.




AG - Aquecimento global; FMP - Formação de material particulado fino; ED - Eutrofização de águas doces; EM - Eutrofização marinha; AT - Acidificação terrestre; THNC - Toxicidade humana não-carcinogênica
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 7: Avaliação de impactos com contabilização das emissões evitadas – resultados normalizados (modelo: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.06 / World




AG - Aquecimento global; FMP - Formação de material particulado fino; ED - Eutrofização de águas doces; EM - Eutrofização marinha; AT - Acidificação terrestre; THNC - Toxicidade humana não-carcinogênica
Fonte: elaborado pela autora.

Na categoria de impacto aquecimento global (AG) o sistema analisado emitiu 7,84E+01 kg CO2 eq. por tonelada de material reciclável tratado. O descarte de rejeitos foi o responsável por 84,78% (a céu aberto e queima) da contribuição com as emissões nessa categoria. A coleta e o transporte dos resíduos (desconsiderado o transporte de rejeitos) contribuíram com 10,39% e no processamento a eletricidade foi o maior contribuinte com 2,66%. Devido à emissão de metano biogênico dos rejeitos descartados de forma irregular e de dióxido de carbono liberado na queima irregular de rejeitos e no transporte.

Na categoria formação de material particulado fino (FMP) o sistema emitiu 1,74E-01 kg PM2.5 eq. A queima de rejeitos a céu aberto foi responsável por 89,46% das emissões, seguido pela coleta e transporte dos resíduos com 7,22% e eletricidade com 1,62%. Isso se dá devido à emissão de material particulado com partículas menores que 2.5 µm emitidos principalmente na queima de rejeitos a céu aberto e no transporte de resíduos.

Com relação à acidificação terrestre (AT) o sistema emitiu 1,22E-01 kg $SO_2$ eq. e as contribuições foram: a queima de rejeitos a céu aberto com 69,16% das emissões; a coleta e transporte dos resíduos com 20,02%; e a eletricidade com 5,62%. A queima de rejeitos a céu aberto e o transporte de resíduos emitem de óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, que causam acidificação. Além disso, essa foi a categoria em que os transportes (incluindo de

rejeitos), o fitilho utilizado para amarração dos fardos, o óleo utilizado nas prensas, a eletricidade e a água apresentaram seus maiores níveis de contribuição se comparado às outras categorias de impacto analisadas.

As categorias eutrofização de águas doces (ED) e eutrofização marinha (EM) apresentam resultados semelhantes com mais de 95% das emissões advindas do descarte de rejeitos a céu aberto. Os totais de emissões dessas categorias foram 3,42E-01 kg P eq. para águas doces e 3,77E-02 kg N eq. para água marinha. Isso se deve à emissão de fósforo (P) para às águas doces oriunda da disposição irregular de rejeitos, o que leva ao aumento da demanda biológica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO) nas águas doces. Para as águas marinhas a disposição irregular de rejeitos aumenta os níveis de nitrogênio (N) nas águas marinhas pela emissão de nitrogênio orgânico e íon de amônio.

Na categoria toxicidade humana não-carcinogênica (THNC) foram emitidos 4,83E+02 kg 1,4-DCB eq. para o ar urbano por pessoa (relativo à população mundial em 2010). Novamente, a disposição a céu aberto de rejeitos foi o maior contribuinte, com 92,69% das emissões devido à emissão de zinco para as águas. Em seguida veio a queima de rejeitos a céu aberto com 4,69% e a coleta e transporte de resíduos com 1,87%, seguido pela eletricidade com 0,33%.

Ao se considerar as emissões evitadas pela reciclagem dos materiais, o que diminui a necessidade de produção de matéria-prima virgem, observa-se que há um impacto positivo, com redução de emissões em todas as categorias (Figura 7). Essa redução é mais significativa na categoria de impacto eutrofização de águas doces (ED), devido à redução da emissão de fosfato para as águas. Em seguida vem a categoria aquecimento global (AG), devido às reduções de emissões de dióxido de carbono, principalmente, pela não produção de plástico filme (polietileno de baixa densidade) e aço.

#### 5.2.1.1 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi realizada para os dados de geração de rejeitos que são reflexo da eficiência do sistema de produto, pois esses foram os dados que apresentaram maior nível de incerteza pelos entrevistados na coleta de dados. Por isso, a análise de sensibilidade foi feita alterando-se os valores de eficiência do sistema, o que implica na maior geração de rejeitos para cada tonelada de materiais recicláveis processada e vendida. Os valores foram variados em 5 a 15% de rejeitos, pois conforme o responsável pelo comércio de recicláveis, há essa variação dependendo se os resíduos são comprados ou doados (na maior parte por condomínios). No cenário original (resultados apresentados no

item 5.2.1) foi considerada um valor intermediário desses valores de 5 a 15% de geração de rejeitos, ou seja, 7,5%. Para a análise de sensibilidade, as emissões evitadas foram consideradas, visando estimar se mesmo com uma geração de rejeitos maior o sistema ainda teria impactos ambientais positivos.

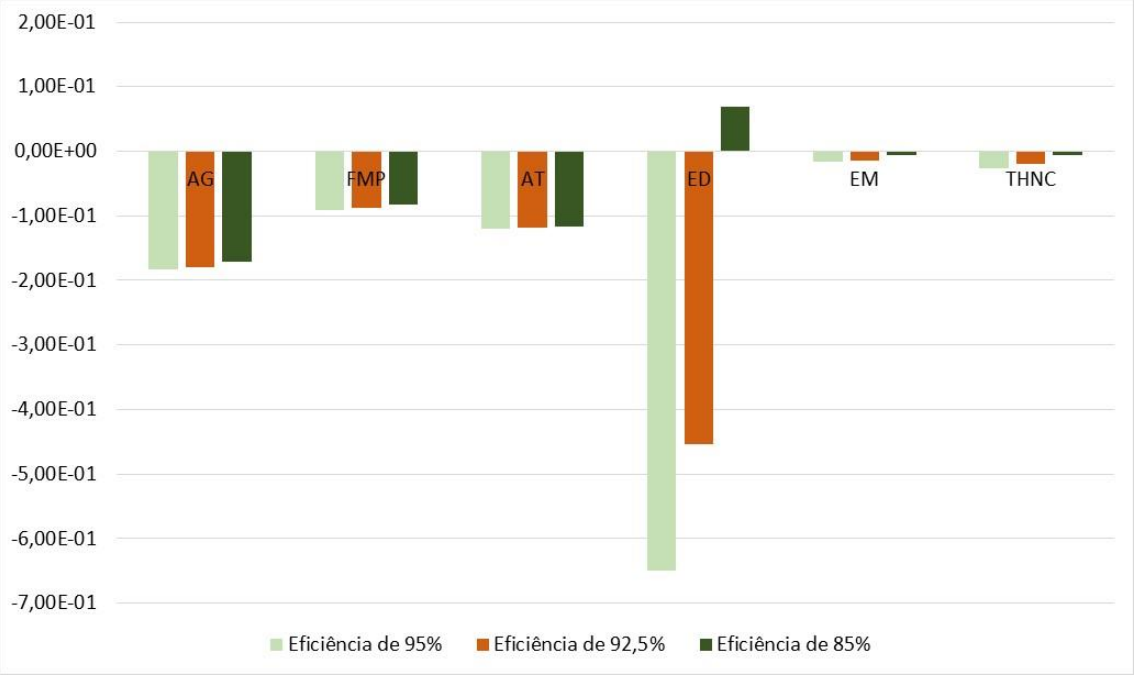
Na Tabela 19 são apresentados os dados de inventário do ciclo de vida para os dois cenários da análise de sensibilidade e a Tabela 30 em apêndice apresenta os resultados normalizados da avaliação de impacto. Estes dados são representados graficamente na Figura 8. Analisando os resultados, percebe-se que a categoria de impacto eutrofização de água doce é única categoria onde há variação significativa nos resultados e que as emissões evitadas no cenário de eficiência de 85% não são suficientes para tornar a contribuição líquida negativa.

Tabela 19: Cenários de eficiência da análise de sensibilidade

| Fluxos | un. | Cenário com eficiência de 95% | Cenário com eficiência de 85% |
|---|---|---|---|
| *Entradas* | | | |
| **Matérias** | | | |
| Água | kg | 241,32 | 241,32 |
| Fitilho | kg | 1,65 | 1,65 |
| **Energia** | | | |
| Eletricidade | kWh | 8,63 | 8,63 |
| Óleo lubrificante (prensa) | kg | 0,11 | 0,11 |
| **Serviços** | | | |
| Transporte coleta (caminhão) | tkm | 14,66 | 14,66 |
| Transporte coleta (veículo leve) | tkm | 7,44 | 7,44 |
| Transporte rejeitos (caminhão) | tkm | 1,65 | 4,96 |
| *Saídas* | | | |
| **Matérias** | | | |
| Rejeitos queima a céu aberto | ton. | 0,03 | 0,08 |
| Rejeitos disposição a céu aberto | ton. | 0,03 | 0,08 |
| Efluente | $m^3$ | 0,16 | 0,16 |

Fonte: elaborado pela autora

Figura 8: Gráficos com os resultados normalizados dos cenários de eficiência da análise de sensibilidade




Fonte: elaborado pela autora

### 5.2.2 Custeio do Ciclo de Vida

A Tabela 20 mostra os custos e receitas dos catadores e do comércio de recicláveis e seus lucros líquidos mensais e com relação à unidade funcional (UF). No setor informal os catadores declararam não terem custos com a atividade, por isso foi considerada apenas a receita obtida com a venda dos recicláveis. Os carrinhos, quando utilizados, foram confeccionados pelos próprios catadores com materiais que eles encontram nas ruas, por isso o custo com esse equipamento também foi desconsiderado. Os catadores entrevistados não utilizavam nenhum outro equipamento para coletar os resíduos recicláveis, guardavam os recicláveis em casa para o comércio de recicláveis ir retirar ou vendiam no mesmo dia e não tinham nenhum custo com a atividade.

A receita dos catadores informais foi somada e dividida pela quantidade de resíduos recicláveis que vendem mensalmente para obter o valor em relação à unidade funcional. Para esse cálculo, foram considerados os valores declarados pelos catadores informais e pelo comércio de recicláveis. A massa coletada pelos catadores foi somada, totalizando R$ 4,04 toneladas/mês e do comércio de recicláveis foi considerado o valor de 53,87 toneladas/mês

como descrito no item “5.1.4 Comércios de materiais recicláveis” que é o valor referente ao comércio de recicláveis escolhido para a ASCV.

No comércio de reciclável foram considerados os custos para a empresa. Nas entrevistas o dono do comércio de recicláveis declarou que utiliza seus veículos e equipamentos por mais tempo do que o apontado na literatura (cerca de 15 anos para os veículos), por isso os valores passaram pela análise de sensibilidade sendo alterados para (10, 15 e 5 anos), mas não houve mudanças significativas no resultado de custo total/UF (diferença de R$0,0022 equivalente a 1% do custo total para UF).

Tabela 20: Custo líquido (em R$) em cada processo elementar (valor mensal) e o custo final pela UF (t.RSU).

| | Descrição | Catador Informal | Comércio de Recicláveis |
|---|---|---|---|
| | ***Custos*** | | |
| Investimento | Área | 0,00 | 0,00 |
| | Infraestrutura | 0,00 | 0,00 |
| | Veículo leve | 0,00 | 117,13 |
| | Caminhão | 0,00 | 250,00 |
| | Equipamentos | 0,00 | 250,00 |
| Operacional | Água e Esgoto | 0,00 | 22,00 |
| | Energia Elétrica | 0,00 | 340,00 |
| | Combustível | 0,00 | 960,00 |
| | Fitilho para amarrar fardos | 0,00 | 100,00 |
| | Compra de resíduos recicláveis | 0,00 | 4.000,00 |
| | Manutenção de Maquinários e Equipamentos | 0,00 | 12,5 |
| | Manutenção de Veículos | 0,00 | 18,3565 |
| | Salários | 0,00 | 8.200,00 |
| | Custo Total | 0,00 | 14.269,99 |
| | Custo Total por tonelada | 0,00 | 264,90 |
| | ***Receitas*** | | |
| | Venda de materiais recicláveis | 2.620,00 | 26.000,00 |
| | ***Lucro*** | | |
| Total | Lucro líquido | 2.620,00 | 11.830,01 |
| | **Lucro líquido por UF** | R$ 648,51 | R$ 219,60 |

Fonte: elaborado pela autora

Para o comércio de recicláveis, o maior custo é com os salários dos funcionários que trabalham na coleta, triagem e enfardamento dos materiais recicláveis. São cerca de 10 funcionários que geram um custo equivalente a R$ 8.200,00 mensais. A compra dos materiais recicláveis é a segunda maior origem dos custos para o comércio de recicláveis,

com um custo mensal de R$ 4.000,00. A coleta e o transporte dos materiais é a terceira maior atividade na geração de custos, com um custo mensal de R$ 1.345,49. Esta contempla os custos com os veículos, suas manutenções e combustível. Em seguida, está o processamento dos materiais, com um custo de R$ 724,50 mensais, advindos dos consumos de água e esgoto, eletricidade, equipamentos como prensa e balanças e suas manutenções e os fitilhos para enfardamento. Com relação ao descarte dos rejeitos, o custo é baixo, apenas em relação ao transporte dos rejeitos até o local de disposição inadequada, mas não foi possível estima-lo, pois não há uma separação desse custo para o custo com a coleta e transporte que são realizados com o mesmo veículo e combustível.

Nota-se que tanto os catadores informais quanto o comércio de recicláveis obtêm lucro com essa atividade. E que apesar do lucro líquido do comércio de recicláveis (igual a R$ 11.830,01/mês) ser cerca de quatro vezes maior do que o dos catadores informais (igual a R$ 2.620,00/mês), quando esse valor é relativizado à unidade funcional (1 tonelada de resíduos recicláveis), o lucro líquido dos catadores informais (R$ 648,51/toneladas/mês) é cerca de três vezes maior do que o do comércio de recicláveis (R$ 219,60 /toneladas/mês).

### 5.2.3 Avaliação Social do Ciclo de Vida

Nesse item são apresentadas as respostas dos entrevistados e as observações de campo para cada um dos indicadores da ACV-S, bem como a pontuação de cada subcategoria de impacto de acordo com seus requisitos básicos e classificação final em sistemas de cores de acordo com o método SAM elaborado por RAMIREZ *et al.* (2014) como explicado no item “4.3.4 Avaliação Social do Ciclo de Vida”.

1. Liberdade para associação e negociação coletiva

Não existe nenhum tipo de órgão que represente os catadores informais em nível municipal e nem os comércios de recicláveis. Não há organização que lute pelos direitos dos catadores informais e nem dos comerciantes de recicláveis e seus funcionários. Existe o movimento nacional de catadores (reconhecido mundialmente), mas sua representatividade é centrada nos catadores pertencentes às cooperativas e essa representatividade não alcança os catadores informais. Existe também as associações de classe como a dos aparistas de papel, porém como no caso anterior essa representatividade não alcança os pequenos comércios. Por isso, as duas organizações foram classificadas no nível C na subcategoria “Liberdade para associação/sindicalização e negociação coletiva”.

2. Trabalho infantil

Não houve indícios de menores de idade trabalhando nos locais. Os entrevistados informaram que nenhum menor de idade os ajuda no trabalho e não foi presenciada nenhuma criança nesse tipo de trabalho na observação em campo, por isso tanto o comércio de recicláveis quanto os catadores informais foram classificados como B nessa subcategoria.

3. Salário justo:

O salário mínimo federal para o ano de 2019 era de R$ 998,00 por mês. Os valores foram relativizados às horas trabalhadas, pois esse indicador varia muito no setor. Então foi considerado o salário mínimo nacional de R$ 4,54 a hora (BRASIL, 2019). O menor salário encontrado no comércio de recicláveis foi de R$ 4,37 e para os catadores informais foi R$ 7,29 (Tabela 21).

4. Horas de trabalho:

Os catadores e trabalhadores dos comércios de recicláveis não relataram horas extras. Pelo contrário, houve a constatação de que os catadores informais trabalham poucas horas por dia (Tabela 21). Os trabalhadores da triagem dos comércios recebem por dia e não são cobrados para ir ao trabalho todos os dias, por isso a quantidade de dias trabalhados por mês e a remuneração mensal variam por trabalhador.

Tabela 21: Horas trabalhadas e remuneração dos trabalhadores (dados mensais).

| | Coleta Informal | | | Comércio de recicláveis | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Catador 1 | Catador 2 | Catador 3 | Menor salário | Trabalhador 1 | Trabalhador 2 | Trabalhador 3 |
| Receita mensal (R$) | 600,00 | 350,00 | 1.670,00 | 35/dia | R$ 900,00 | R$ 1.200,00 | R$ 1.000,00 |
| Ganho por hora (R$) | R$8,33 | R$ 7,29 | R$ 10,43 | R$ 4,37 | R$ 5,62 | R$ 7,50 | R$ 6,25 |
| Horas trabalhadas por dia | 3h | 4h | 8h | 8h | 8h | 8h | 8h |
| Dias trabalhados por semana | 6 | 3 | 5 | - | 5 | 5 | 5 |
| Horas trabalhadas por mês | 72h | 48h | 160h | - | 160h | 160h | 160h |

Fonte: elaborado pela autora

5. Igualdade de oportunidades/discriminação:

Não foi encontrada nenhuma evidência de discriminação no ambiente de trabalho. No comércio de recicláveis a maior parte dos trabalhadores são mulheres (6 mulheres de 9 funcionários, ou seja, 66%). As mulheres recebem salário menor do que os

homens, mas não desempenham as mesmas funções. As mulheres trabalham na triagem dos materiais e os 3 homens trabalham na coleta dos resíduos, na prensa fazendo os fardos e no carregamento dos fardos e bags de materiais.

Dentre os catadores informais, percebeu-se na observação em campo que há predominância de homens na função. Essa característica foi refletida no universo dos entrevistados, onde 1 era mulher e 2 eram homens. Porém, a entrevistada não relatou sofrer preconceito. A remuneração varia conforme a quantidade de material vendida e é a mesma para homens e mulheres.

6. Saúde e segurança:

Nos comércios de recicláveis os funcionários usam pelo menos um equipamento de proteção. Os trabalhadores da triagem usam luva e os da coleta usam bota. No local existe mesa de triagem coberta, porém não há equipamentos para auxiliar no carregamento e elevação dos fardos. Os entrevistados disseram que é muito raro se machucarem no trabalho e quando ocorre são pequenos cortes na mão, mas é comum sentirem dores no corpo devido ao levantamento de bag's de materiais recicláveis pesados. Não existe uma política para prevenir acidentes e trabalhadores e não recebem treinamento para evitar acidentes. Apesar da reclamação de dores pelos trabalhadores, esse item foi classificado como B, pois os trabalhadores usam pelo menos um tipo de EPI, o que retrata ações de prevenção de acidentes e não ocorrem acidentes.

Os catadores informais não usam nenhum tipo de equipamento de proteção e reclamam que o trabalho é cansativo. Apesar disso, declararam que nunca tiveram nenhum acidente de trabalho. Apenas um catador alegou que sente dores e cansaço após o trabalho. Considerando que eles não usam EPI e a proporção de trabalhadores que reclamam de dores (relacionadas ao trabalho) é maior do que a média nacional a pontuação estabelecida foi D.

7. Benefícios sociais/segurança social

Os trabalhadores dos comércios de recicláveis não possuem contrato de trabalho e a organização não oferece nenhum tipo de benefício social. O dono do comércio disse que incentiva os funcionários a serem microempreendedores individuais (MEI), pois essa modalidade garante os benefícios. Porém, apenas 3 (dos 9) trabalhadores se cadastraram como MEI e contribuem para a seguridade social. Os catadores informais não possuem nenhum tipo de registro profissional e não recebem benefícios trabalhistas. Dois catadores alegaram que já são aposentados e trabalham com reciclagem para complementar a renda. Como o benefício é oriundo de atividades profissionais passadas dos entrevistados que não

era relacionada à catação de materiais recicláveis e nem fazem parte do escopo temporal deste estudo, isso não foi considerado.

8. Participação da comunidade:

Dos catadores informais apenas um comentou que conversa com a população para separarem os recicláveis para ele. Sobre os comércios de recicláveis, não há nenhuma interação com os moradores. Eles coletam materiais recicláveis de condomínios, mas o acordo é realizado com o gestor do condomínio e não há nenhum envolvimento ou ações para conscientização da comunidade. Em nenhum dos casos foi encontrado relato ou indícios de terem prejudicado a comunidade.

9. Emprego Local

Todos os funcionários são trabalhadores locais e que não encontravam oportunidade de emprego em outras áreas, assim como os catadores informais. No caso do dono do comércio de recicláveis, ele herdou a profissão do pai que já trabalhava com isso.

A Seguir na Tabela 22, são apresentadas em resumo as evidências encontradas em campo que justificam as classificações atribuídas a cada subcategoria de impacto. A |Tabela 23 apresenta as classificações finais de cada subcategoria de impacto e a Figura 9 é uma representação gráfica dessas pontuações, que foram transformadas em números de acordo com o sistema de codificação do método SAM (Ramirez *et al.*, 2014) apresentado na Tabela 6. Tanto o comércio de recicláveis quanto os catadores informais atenderam aos requisitos básicos de 5 das 9 subcategorias (ou seja, 55,5%). Eles apresentaram classificações iguais nas subcategorias 1, 2, 4, 5, 7, 8 e 9. Sendo que:

- na subcategoria 1, receberam classificação C, pois nenhum dos dois possui uma organização que os represente e estão em um contexto negativo onde não há representatividade para o setor informal.
- na subcategoria 2, receberam classificação B, pois nenhum dos dois empregam menores de 18 anos.
- na subcategoria 4, receberam classificação B, seus trabalhadores não trabalham mais de 8 horas diárias.
- subcategoria 5, receberam classificação B, nenhum dos dois apresentou evidências de discriminação no ambiente de trabalho, apesar de haver predominância de mulheres nas atividades de triagem que é a que possui a menor remuneração, por isso, para esse item é indicado que sejam feitas novas pesquisas visando melhorar o método de avaliação.

- subcategoria 7, receberam classificação D, pois os trabalhadores não possuíam benefícios sociais, apesar de no comércio de recicláveis haver uma maior conscientização da possibilidade do trabalhador informal se tornar Microempreendedor Individual (MEI) e usufruir dos benefícios sociais do governo (com 33% dos trabalhadores sendo MEI's), isso não foi suficiente para considerar que ele cumpre o requisito básico.
- subcategoria 8, receberam classificação C, pois não foi identificada interação significativa para a conscientização com relação à reciclagem da comunidade tanto com relação aos catadores informais quando para os comércios de recicláveis. Assim como, não foi identificado nenhum prejuízo à comunidade local.
- subcategoria 9, receberam classificação B, pois todos os trabalhadores são do município e por variados motivos não encontraram oportunidade de emprego em outras profissões, mostrando que a atividade informal estimula a geração de emprego e renda mesmo que na informalidade. O comércio de recicláveis compra resíduos em municípios vizinhos, isso gera uma parcela de emprego não local (fora de Bauru) que não pode ser contabilizado pelos indicadores estabelecidos, por isso, recomenda-se que esse indicador também seja revisado em pesquisas futuras para contemplar essa característica do setor informal.

As classificações finais das subcategorias 3 e 6 foram diferentes para os comércios e catadores informais, sendo que:

- na subcategoria 3, os catadores informais atenderam o requisito básico com todos seus trabalhadores recebendo salário superior ao salário mínimo proporcional às horas trabalhadas (classificação B). E o comércio recebeu classificação D, pois os funcionários que recebem o menor salário não alcançam o salário mínimo nacional.

- na subcategoria 6, quem recebeu a menor classificação foram os catadores informais (classe D), pois eles não usam equipamento de proteção individual (EPI), enquanto que no comércio de recicláveis os trabalhadores utilizam pelo menos 1 EPI, atendendo ao requisito básico (classe B). Entretanto, deve-se ressaltar que houve a reclamação por parte dos trabalhadores do comércio de recicláveis sobre dores no corpo

causadas pela atividade exercida, o que não foi suficiente para afetar negativamente essa subcategoria, por isso recomenda-se que esses dois aspectos sejam avaliados separadamente em estudos futuros ou os mesmos proponham melhorias para a avaliação dessa subcategoria.

Tabela 22: Evidências para a avaliação baseada no método SAM

| | Catador informal | Comércio de recicláveis |
|---|---|---|
| 1 | Não há organização representativa | Não há organização representativa |
| 2 | Não há trabalhadores com menos de 18 anos | Não há trabalhadores com menos de 18 anos |
| 3 | Todos recebem mais do que o salário mínimo | O menor salário é menor do que o salário mínimo e a média dos salários é menor do que o salário de subsistência |
| 4 | Nenhum trabalhador ultrapassa 8 horas de trabalho por dia | Nenhum trabalhador ultrapassa 8 horas de trabalho por dia |
| 5 | Há predominância de homens na atividade, mas não foi relatada discriminação e o salário varia conforme a quantidade de resíduos vendida tanto para homens quanto para mulheres | Há predominância de mulheres na atividade e não foi relatada discriminação no local de trabalho. Homens e mulheres recebem salários diferentes, porém para funções diferentes |
| 6 | Os funcionários não usam equipamentos de proteção | Os funcionários usam pelo menos um equipamento de proteção |
| 7 | Não possuem benefícios trabalhistas | Apenas 33% possuem benefícios trabalhistas |
| 8 | Apenas um catador disse que conversa com a população para separarem recicláveis para ele | Não há interação com a comunidade |
| 9 | Todos os empregos são locais | Todos os empregos são locais |

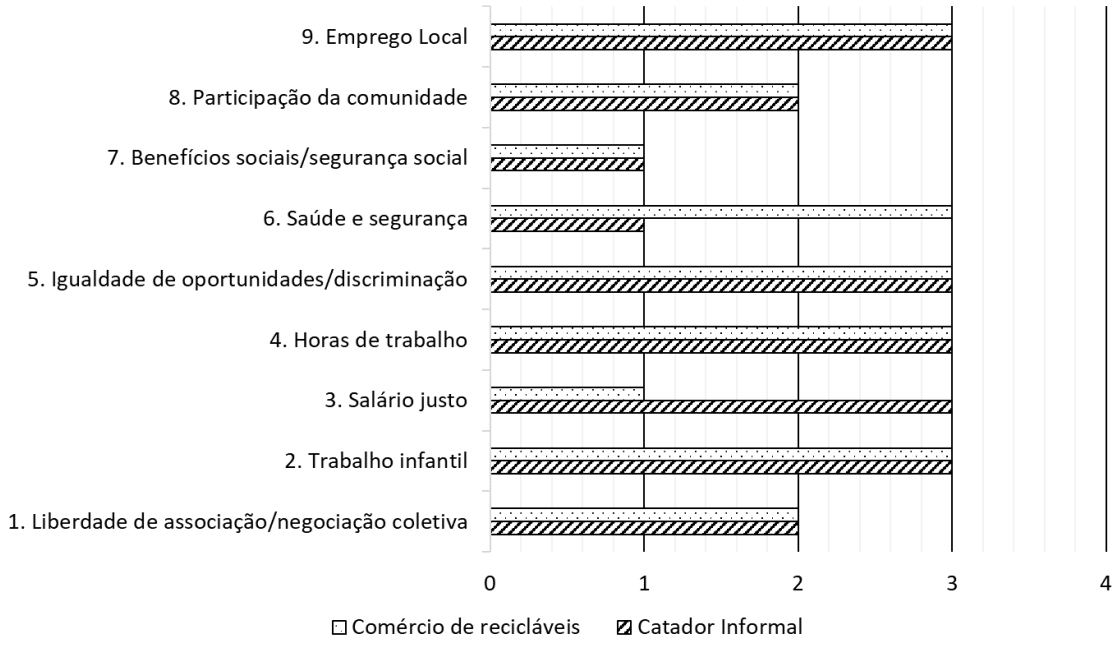
Fonte: elaborado pela autora

Tabela 23: Classificação final da avaliação de impacto social.

| Subcategoria de impacto | Catador Informal | Comércios de Recicláveis |
|---|---|---|
| 1. Liberdade para associação e negociação coletiva | C | C |
| 2. Trabalho infantil | B | B |
| 3. Salário justo | B | D |
| 4. Horas de trabalho | B | B |
| 5. Igualdade de oportunidades/discriminação | B | B |
| 6. Saúde e segurança | D | B |
| 7. Benefícios sociais/segurança social | D | D |
| 8. Participação da comunidade | C | C |
| 9. Emprego Local | B | B |

Fonte: elaborado pela autora

Figura 9: Representação gráfica da pontuação da classificação final da avaliação de impacto social.




Fonte: elaborado pela autora

### 5.2.4 Interpretação e discussão dos resultados

A aplicação da ASCV no sistema analisado apontou que os principais pontos de atenção com relação à potenciais impactos negativos do setor informal estão no descarte irregular de rejeitos, sendo responsável por mais de 70% dos impactos em todas as categorias avaliadas na ACV-ambiental, seguida pela coleta e transporte dos materiais recicláveis (Tabela 28). E nas condições de trabalho, as quais não atenderam os requerimentos básicos em 3 das 7 subcategorias avaliadas na ACV-S para os trabalhadores (42,8%) (Tabela 23). Em uma comparação entre os trabalhadores do comércio de recicláveis e dos catadores informais, percebeu-se que a informalidade proporciona um ganho financeiro maior, entretanto as condições de trabalho (ex. saúde e segurança) são piores.

Sobre o CCV, avalia-se que tanto os catadores informais quanto o comércio de recicláveis geram impactos econômicos positivos, pois geram lucro (Tabela 20). O lucro apresentado pelos catadores informais (R$ 648,51/toneladas/mês) foi quase três vezes maior do que o do comércio de recicláveis (R$ 219,60 /toneladas/mês) e a maior despesa do comércio de recicláveis está no pagamento de salários aos funcionários e em segundo lugar a compra de materiais recicláveis. Os catadores informais não relataram custos operacionais, enquanto que o comércio relatou um custo de R$ 264,90 /tonelada. Para se ter uma base de comparação, o custo médio da coleta seletiva no Brasil é de R$ 442,24 por tonelada

(CICLOSOFT, 2018), equivalente a R$498,35 atualizado para o mês de novembro de 2019. Na cidade de Sorocaba o custo por tonelada da coleta seletiva e triagem dos materiais recicláveis era de R$ 950,79 em 2014 (PAES, 2018), equivalente a R$ 1.288,54 atualizado para novembro de 2019.

Com relação aos impactos ambientais, o sistema analisado apresenta impacto ambiental positivo em todas as categorias de impacto analisadas se consideradas as emissões evitadas pela não produção de matéria-prima devido à reciclagem dos resíduos. Outros estudos que aplicam ACV-ambiental para sistemas formais de SGIRSU também apontam para contribuição positiva da reciclagem na diminuição dos impactos ambientais (FERRONATO *et al.*, 2021; ZHANG *et al.*, 2021). A título de comparação, utilizou-se a redução de emissões de gases de efeito estufa em $CO_2$ equivalente que é calculada a partir da metodologia mais robusta até o momento que é a do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Em La Paz a redução foi de -0,12 kg de $CO_2$ eq. por tonelada de resíduo. Enquanto que nesse estudo o valor foi de -0,18 kg de $CO_2$ eq./tonelada de resíduo, ou seja, próximo ao valor encontrado por Ferronato *et al.* (2021) que inclui ainda os impactos do processo de reciclagem e do transporte dos materiais até as unidades de reciclagem.

Deve-se ponderar que na presente tese não foram considerados os impactos do processo de reciclagem e das etapas existentes entre a saída dos materiais recicláveis do comércio de recicláveis até sua entrada no processo de reciclagem como impacto do processo e transporte dos intermediários, por não estarem dentro do escopo da informalidade. Dessa forma, é recomendado um estudo que abranja todas essas etapas da cadeia de reciclagem para verificar se a atuação do setor informal continua gerando impactos positivos quando os impactos do processo de reciclagem são avaliados.

Na ACV-S, para cinco das nove subcategorias avaliadas o impacto é negativo, ou seja, o requisito básico não é atingido. São elas: liberdade para associação e negociação coletiva; participação da comunidade; salário justo (apenas para o comércio de recicláveis); saúde e segurança (negativa apenas para os catadores); benefícios sociais/segurança social. Sendo que para as três últimas o desempenho foi o pior possível, pois não atendem os requisitos dentro de um contexto positivo.

De uma forma geral, as subcategorias que apresentaram as piores classificações (D), ou seja, potencialmente ocasionam impactos negativos são relativas à parte interessada trabalhadores. Os impactos negativos do setor informal de reciclagem para os trabalhadores também foram verificados por Yıldız-Geyhan *et al.* (2019) em Istanbul, Turquia também aprontaram os impactos socioeconômicos positivos do setor devido à geração de emprego e

renda e impactos ambientais positivos pela alta taxa de recuperação de resíduos, maior até do que o setor formal.

Destaca-se que no estudo de caso, os catadores informais receberam em média cerca de R$ 2,75/hora a mais do que os trabalhadores dos comércios de recicláveis. A renda média dos catadores informais foi de R$ 8,68/hora e dos trabalhadores do comércio de recicláveis foi de R$ 5,94/hora. Os catadores associados a cooperativas receberam em média R$ 932,19 de salário em 2019 (Anuário 2020), equivalente a 5,82/hora se considerado que eles trabalhem 40 horas semanais. Portanto, se comparado com os catadores associados a cooperativas, os catadores informais recebem R$2,86/hora a mais. Isso, aliado à maior flexibilidade de trabalhado dos catadores informais (com relação a horário, por exemplo), pode ser uma dificuldade para o combate à informalidade, como apontado por Lima e Mancini (2017).

Com relação à qualidade dos dados pode se considerar que eles representam um retrato do sistema analisado, composto pelo comércio de recicláveis, seus trabalhadores e catadores informais que vendem seus resíduos para ele, no período do estudo (outubro/novembro de 2019). Os dados do sistema de primeiro plano são primários e coletados através de um intenso processo de entrevistas e observação em campo.

As análises de sensibilidade dos dados que possuíam menor confiabilidade, como a eficiência do sistema na ACV-ambiental e o tempo de uso de veículos e maquinários no CCV, foram apresentadas nos itens 5.2.1 e 5.2.2 respectivamente, visando a melhor didática dos resultados apresentados. No primeiro caso, a análise de sensibilidade mostrou que no cenário de eficiência de 85%, os impactos positivos não são suficientes para tornar a contribuição líquida negativa somente na categoria eutrofização de águas doces, ou seja, uma das 6 categorias de impacto avaliadas. No segundo caso a análise de sensibilidade não apresentou diferenças significativas.

A partir do estudo de caso foi possível traçar recomendações para minimizar os impactos negativos e maximizar os impactos positivos do setor informal de reciclagem. Dessa forma, recomenda-se:

1) Diminuir e se possível zerar o descarte irregular de rejeitos: a prefeitura municipal pode propor parcerias com os trabalhadores informais e a empresa responsável pelo aterro sanitário da cidade para viabilizar o descarte dos rejeitos no aterro sanitário. E realizar ações de conscientização da população para a separação dos materiais recicláveis visando diminuir a quantidade de materiais não recicláveis que são misturados aos recicláveis.

2) Atualização da frota de veículos de coleta dos materiais recicláveis, nesse sentido a prefeitura pode orientar os responsáveis pelos comércios de recicláveis sobre programas de invectivo e linhas de financiamento.
3) Apoio e conscientização dos catadores informais para o uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e técnicas para evitar acidentes de trabalho. E, apoio e conscientização dos catadores e trabalhadores dos comércios de recicláveis sobre a importância de sua formalização como Microempreendedor Individual (MEI).
4) Parceria entre catadores informais, comércios de recicláveis e prefeitura para torna-los educadores ambientais, visando aproveitar de seu contato direto com a população para conscientizar sobre a separação dos materiais recicláveis, que aumentaria os índices de reciclagem e a renda dos trabalhadores.

# 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo mostrou que a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida é uma ferramenta eficaz para mensurar os impactos ambientais, econômicos e sociais do setor informal de reciclagem e estabelecer pontos de atenção para potenciais impactos do setor. Além disso, confirmou a importância da avaliação conjunta dos três pilares da sustentabilidade dos SGIRSU, pois são sistemas complexos que afetam e são diretamente afetados pelos três pilares e que para serem sustentáveis devem ser ambientalmente eficazes, economicamente acessíveis e socialmente aceitos (KHANDELWAL *et al.,* 2019).

Os resultados as ASCV mostraram que, na vertente ambiental, o sistema apresenta impacto positivo em todas as categorias de impacto analisadas devido às emissões evitadas pela produção de matéria-prima recuperada diminuindo a necessidade de matéria-prima virgem, o que é capaz de compensar as emissões do sistema. De maneira geral, percebe-se que o descarte irregular de rejeitos a céu aberto e a queima a céu aberto são os maiores contribuintes em todas as categorias de impacto analisadas. A coleta e transporte dos resíduos aparece em segundo lugar, seguido pelo processamento dos materiais recicláveis (triagem, enfardamento e armazenamento). No aspecto econômico o impacto é positivo, pois gera lucro de R$0,71 por tonelada para os catadores informais e de 0,22 para o comércio de reciclável. Entretanto, com relação ao aspecto social o impacto é negativo para cinco das nove subcategorias avaliadas: liberdade para associação e negociação coletiva; participação da comunidade; salário justo (apenas para o comércio de recicláveis); saúde e segurança (negativa apenas para os catadores); benefícios sociais/segurança social, evidenciando os potenciais impactos negativos da atividade para os trabalhadores.

Essa tese de doutorado explorou a atuação dos setores formal e informal de reciclagem no município de Bauru, São Paulo. Dessa forma, foi possível traçar um panorama da cadeia da reciclagem no município, que comprovou a relevância da atuação do setor informal no município. Identificou-se, conforme é apontado na literatura, que na cadeia de reciclagem atuam em paralelo: a prefeitura municipal através da coleta seletiva e de cooperativas de materiais recicláveis e um consolidado mercado de reciclagem formado por atores informais que inclui os catadores informais, pequenos comércios de recicláveis e grandes empresas comerciantes de materiais recicláveis.

Em uma estimativa conservadora calculou-se que o setor informal recupera, por habitante, o dobro de materiais recicláveis do que o setor formal, sendo que o setor formal recuperou 0,46 kg/hab./mês e o setor informal recuperou 0,88kg/hab./mês. Verificou-se ainda que o setor informal tem um papel importante na recuperação de materiais recicláveis e a inclusão da sua contribuição nos números de taxa de material coletado seletivamente, o número atual em Bauru pode chegar a cerca de 13%, valor próximo à meta do Governo Federal para o ano de 2024 (PLANARES, 2022).

Dessa forma, recomenda-se aos gestores públicos e tomadores de decisão que mapeiem as cadeias de reciclagem de seus municípios, incluindo o setor informal, visando entender os fluxos de resíduos e os atores atuantes para que possa haver sua inclusão no planejamento de políticas públicas para a gestão de resíduos municipal que representem a realidade local. A partir desse mapeamento, estudem formas de incentivar a inclusão do setor informal, de forma que em contrapartida haja o controle de suas atividades e incentivos às melhorias em sua atuação.

A inclusão do setor informal no SGIRSU pode contribuir para o aumento dos índices de reciclagem municipal, pois ele já possui uma atuação forte e estabelecida nos municípios. Conhecer seu papel e seus pontos de melhoria poderia aumentar as taxas de reciclagem e traçar estratégias para diminuir os impactos do setor, bem como para melhorar a remuneração dos trabalhadores e suas condições de trabalho.

Um exemplo disso seria a recomendação encontrada a partir do estudo de caso dessa tese, onde percebeu-se que um importante contribuinte para os potenciais impactos negativos ao meio ambiente é a disposição inadequada dos rejeitos, por isso um estudo do município sobre como garantir o acesso dos atores informais, principalmente os comerciantes de materiais, ao aterro sanitário para disposição correta dos rejeitos de sua operação, poderia proporcionar uma diminuição do impacto ambiental que em sua maioria advém da disposição irregular e queima dos rejeitos.

Sobre a aplicação da ASCV para avaliar o setor informal de reciclagem, conclui-se que sua aplicação é efetiva na avaliação dos potenciais impactos ambientais, econômicos e sociais. A maior dificuldade para a aplicação da ASCV no setor é a falta de dados, que é uma característica intrínseca do setor informal e a desconfiança dos entrevistados em passar dados verídicos. Para dirimir essas barreiras, recomenda-se que o trabalho de coleta de dados seja precedido de visitas de campo para conhecer os trabalhadores, explicar o trabalho que será realizado e ganhar a confiança dos mesmos. A indicação dos atores (catadores, comércios e intermediários) de possíveis novos entrevistados e a intermediação do contato

inicial por esses atores também foi utilizada com sucesso no processo de coleta de dados dessa Tese e é recomendada.

A principal limitação desse estudo é com relação a sua representatividade. Devido à grande necessidade de dados da ASCV optou-se por prezar pela qualidade dos dados e, por uma série de razões, limitou-se a amostra a apenas um comércio de recicláveis e seus trabalhadores. Portanto, os resultados refletem as condições encontradas nesse comércio e não o sistema informal como um todo. Porém no que tange ao comércio de recicláveis estudado e seus trabalhadores considera-se o estudo completo, devido à intensa e minuciosa coleta de dados primários.

Visando ter uma análise mais detalhada e robusta sobre os impactos do setor informal, é recomendado que estudos futuros:

1) Realizem a ASCV para uma amostra maior de comércios de recicláveis e catadores informais.
2) Expandam o escopo da ASCV: para englobar o setor formal afim de realizar uma comparação entre os dois setores e para englobar os intermediários e os recicladores, dessa forma incluindo também o impacto do processo da reciclagem em si e seus transportes.
3) Analisem mais categorias de impacto: por exemplo, na ACV-S, insiram mais subcategorias de impacto relacionadas à parte interessada comunidade local e façam entrevistas com os moradores para coleta de dados para incluir sua percepção; e no CCV, incluam os custos com externalidades, como a precificação das emissões de gases de efeito estufa.
4) Elaborem um método para agregação dos resultados da ASCV afim de obter uma pontuação única de sustentabilidade para que seja possível comparar resultados e apontar qual alternativa é mais sustentável.

# 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Alumínio brasileiro – soluções para uma vida sustentável**. São Paulo. 61p, 2017

ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). **Anuário Estatístico do alumínio,** 2018.

ABEAÇO (Associação Brasileira de Embalagem de Aço). **Nosso aço: uma história para ser contada**. 1 ed. Editora B&B, 2010

ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental). **Medidas de controle dos riscos para retomada do serviço de coleta seletiva por catadores em tempos de Covid-19**, 2020.

ABIPLAST (Associação Brasileira da Indústria do Plástico). **Indústria Brasileira de Transformação e Reciclagem de Material Plástico - Perfil 2018**, 2019. Disponível em: <http://www.abiplast.org.br/wp-content/uploads/2019/03/Perfil-2017.pdf>. Acessado em 01 de março de 2021.

ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET). **Censo da reciclagem do PET no Brasil**. 10ª edição, 2015

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Norma ABNT NBR ISO 14040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, p. 1–22, 2014a.

ABNT. (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **Norma ABNT NBR ISO 14044 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**, 2014b.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais).

**Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. São Paulo, 2014.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014**. São Paulo, 2015a.

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). **Estimativas dos Custos para Viabilizar a Universalização da Destinação Adequada de Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2015b.

AGAMUTHU, P. The role of informal sector for sustainable waste management. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 8, p. 671–672, 2010.

ANAP (Associação Nacional dos Aparistas de Papel). **Relatório Anual** 2018. Anguti Estatística. 2019.

APARCANA, S. Approaches to formalization of the informal waste sector into municipal solid waste management systems in low and middle-income countries: Review of barriers and success factors. **Waste Management**, v. 61, p. 593–607, 2017.

APARCANA, S.; SALHOFER, S. Development of a social impact assessment methodology for recycling systems in low-income countries. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 1106–1115, 2013a.

APARCANA, S.; SALHOFER, S. Application of a methodology for the social life cycle assessment of recycling systems in low-income countries: three Peruvian case studies. International **Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 5, p. 1116–1128, 2013b.

ASCAM (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Bauru). **Relatório Administrativo e operacional de novembro de 2019**. Bauru, SP, 2019.

ASCAM (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Bauru). **Relatório Administrativo e operacional de dezembro de 2020**. Bauru, SP, 2020.

BANCO DE DESENVOLVIMENTO ASIÁTICO. **Materials recovery facility tool kit**. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2013.

ATLAS BRASIL. **Atlas do desenvolvimento humano no Brasil**, 2021. Disponível

em:<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/bauru_sp#demografia>. Acessado em 29 de janeiro de 2020.

AZIMI, A. N.; DENTE, S. M. R. Social Life-Cycle Assessment of Household Waste Management System in Kabul City. **Sustainability**. v 12, 3217, 2020.

BAURU (Município). Plano Municipal de Saneamento Básico: Variável Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos. **Reúsa**. Bauru, 2014.

BASSI, S.A., CHRISTENSEN, T.H., DAMGAARD, A. Environmental performance of household waste management in Europe - an example of 7 countries. **Waste Management**. 69, 545–557. 2017.

BERTICELLI, R.; PANDOLFO, A.; REICHERT, G. A.; SALAZAR, R.F..S; KALIL, R.M. Support system for decision-making processes related to municipal solid waste management by taking into consideration a sustainable life cycle assessment: Review on environmental, economic and social aspects. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 26, n. 2, p. 147–167, 2020.

BIERER, A. *et al.*, Integrating life cycle costing and life cycle assessment using extended material flow cost accounting. **Journal of Cleaner Production**, v. 108, p. 1289–1301, 2015.

BLACK, M. *et al.*, The health risks of informal waste workers in the Kathmandu Valley: a cross-sectional survey. **Public Health**, v. 166, n. 0, p. 10–18, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 5.452, de 1 de maio de 1943.** Consolidação das Leis do Trabalho. Brasília, 1943.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério Das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Dignóstico do Manjeo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2014**. 2016.

BRASIL. Ministério Das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Dignóstico do Manjeo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2015**. 2017.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017** (versão republicada). Brasília, 2018.

BRASIL. **Decreto nº 9.661, de 1º de janeiro de 2019**. Dispõe sobre o valor do salário mínimo e a sua política de valorização de longo prazo. Brasília, 2019a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. **17º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos 2018**. 247 p. Brasília, 2019b.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de**

**Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares** [recurso eletrônico] / coordenação de André Luiz Felisberto França... [et. al.]. – Brasília, DF: MMA, 2022.

CAMPOS, H. K. T. Recycling in Brazil: Challenges and prospects. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 85, p. 130–138, 2014.

CARVALHES, E. Índice de reciclagem de papel atinge nível recorde de 66,2% em 2017. **Revista O Papel**. Ed. junho, 2018.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). **Taxas de reciclagem**. Página da web. 2022. Disponível em: <https://cempre.org.br/taxas-de-reciclagem/#:~:text=98%2C7%25,409%20mil%20toneladas%20foram%20recicladas>. Acessado em 24 de janeiro de 2023

CEMPRE (Compromisso Empresarial Para Reciclagem). **Pesquisa Ciclosoft - Radiografando a Coleta Seletiva**, 2018. Disponível em:< https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/08/Pesquisa-Ciclosoft-2018.pdf>. Acessado em 04 de abril de 2021.

CHAGAS, H. P.; NETO, J. A. O cenário brasileiro da indústria de reciclagem. XXXII **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2012.

CHRISTENSEN, T. H. *et al.,* Application of LCA modelling in integrated waste management. **Waste Management**, v. 118, p. 313–322, 2020.

CINGRANELLI, D. L.; RICHARDS, D. L.; CLAY, K. **The CIRI Human Rights Dataset**. Versão 2014.04.14. Harvard Dataverse, 2011. Disponível em: https://dataverse.harvard.edu/file.xhtml?fileId=5422137&version=1.0. Acessado em 02 de agosto de 2019.

CIROTH, A.; FRANZE, J. **LCA of an Ecolabeled Notebook** - Consideration of Social and Environmental Impacts Along the Entire Life Cycle. GreenDelta. Berlim, 2011.

CIROTH, A.; HILDENBRAND, J.; STEEN, B. **Life Cycle Costing Sustainability Assessment of Renewables-Based Products: Methods and Case Studies**, First Edition. John Wiley & Sons, Ltd., 2015.

CNT (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE). **Emissões no Transporte**. Fórum de avaliação da atividades do downstream e aspectos ambientais da indústria, 2009.

COINTREAU, S. Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management Special Emphasis on Middle - and Lower-Income Countries. The World Bank Group. **Urban Papers**. Washington, DC. 2006.

COSTA, A.M., MANCINI, S., PAES, M.X. *et al.*, Social evaluation of municipal solid waste management systems from a life cycle perspective: a systematic literature review. **. International Journal of Life Cycle Assessment** 27, 719–739, 2022.

COSTA, D.; QUINTEIRO, P.; DIAS, A. C. A systematic review of life cycle sustainability assessment: Current state, methodological challenges, and implementation issues. **Science of the Total Environment**, v. 686, p. 774–787, 2019.

DAE (DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO DE BAURU). **Entenda sua conta de água**. Página da web. Sem data [2019]. Disponível em < http://www.daebauru.sp.gov.br/conta_agua.php?item=EC1>. Acesso em 02 de fevereiro de 2023.

DE FEO, G. *et al.,* A procedure to assess the environmental, social and economic benefits wasted in the paper and cardboard fraction of the unsorted residual waste. **Journal of Cleaner Productio**n, v. 296, p. 126566, 2021.

DE MENNA, F. *et al.,* **Methodology for evaluating LCC**, 2016

DE MENNA, F. *et al.,* Life cycle costing of food waste: A review of methodological approaches. **Waste Management**, v. 73, p. 1–13, 2018.

DIAS, S. M. Waste pickers and cities. **Environment and Urbanization**, v. 28, n. 2, p. 375–390, 11 out. 2016.

DIEESE (DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS). **Pesquisa nacional da Cesta Básica de Alimentos**. Salário mínimo nominal e necessário. 2019. Disponível em:< https://www.dieese.org.br/analisecestabasica/salarioMinimo.html#2019>. Acessado em 17 de março de 2023.

DOKA, G. **Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services**. Part I - General Introduction Waste Material Compositions Municipal Waste Collection. Ecoinvent report nº. 13. Dübendorf, 2017a.

DOKA, G. **A model for waste-specific and climate-specific life cycle inventories of open dumps and unsanitary landfilling of waste**. Zurich, Switzerland. 2017b.

DREYER, L. C.; HAUSCHILD, M. Z.; SCHIERBECK, J. A framework for social life cycle impact assessment. International **Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 88–97, 2006.

DREYER, L. C.; HAUSCHILD, M. Z.; SCHIERBECK, J. Characterisation of social impacts in LCA: Part 1: Development of indicators for labour rights**. International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 3, p. 247–259, 2010.

ECOINVENT. Database. System Models. Página da *web*. 2021. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models/#!/allocation-cut-off>. Acessado em 14 de outubro de 2023.

EKVALL, T., ASSEFA, G., BJÖRKLUND, A., ERIKSSON, O., FINNVEDEN, G. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. **Waste Management** 27, 989–996, 2007.

EUROPEAN COMMISSION. **ILCD Handbook** - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edit ed. Publications Office of the European Union, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management** – A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2011.

EUROSTAT. **Recycling rate of packaging waste by type of packaging**. European Commission, 2019. Disponível em:<https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>. Acesso em 20 de dezembro de 2019.

EZEAH, C.; FAZAKERLEY, J. A.; ROBERTS, C. L. Emerging trends in informal sector recycling in developing and transition countries. **Waste Management**, v. 33, n. 11, p. 2509–2519, nov. 2013.

FEHR, M. The management challenge for household waste in emerging economies like Brazil: Realistic source separation and activation of reverse logistics. **Waste Management and Research**, v. 32, n. 9, p. 32–39, 2014.

FEHR, M.; SANTOS, F. C. Source separation-driven reverse logistics in MSW management. **Environment Systems and Decisions**, v. 33, n. 2, p. 286–294, 3 jun. 2013.

FEI, F. *et al.*, How to integrate the informal recycling system into municipal solid waste management in developing countries: Based on a China's case in Suzhou urban area. **Resources Conservation and Recycling**, v. 110, p. 74–86, 1, 2016.

FERRONATO, N.; TORRETTA, V. Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, 2019.

FERRONATO, N. *et al.*, Formal and informal waste selective collection in developing megacities: Analysis of residents' involvement in Bolivia. **Waste Management and Research**, 2020.

FERRONATO, N. *et al.*, Sensitivity analysis and improvements of the recycling rate in municipal solid waste life cycle assessment: Focus on a Latin American developing context. **Waste Management**, v. 128, p. 1–15, 2021.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEEAWON, T. Comparative life cycle assessment and life cycle costing of four disposal scenarios for used polyethylene terephthalate bottles in Mauritius. **Environmental Technology** (United Kingdom), v. 33, n. 17, p. 2007–2018, 2012.

FOOLMAUN, R. K.; RAMJEEAWON, T. Comparative life cycle assessment and social life cycle assessment of used polyethylene terephthalate (PET) bottles in Mauritius**. International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 1, p. 155–171, 2013.

FRANCELIN, L. P. **O Ensino de Geografia e a Educação Ambiental: Um Estudo de Caso com Resíduos Sólidos Urbanos em Bauru - SP**. Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2015.

FRANKLIN ASSOCIATES. **Life Cycle Inventory of 100% Post-consumer HDPE and PET Recycled Resin from Post-consumer Containers and Packaging,** 2011.

FRANZE, J.; CIROTH, A. A comparison of cut roses from Ecuador and the Netherlands. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 4, p. 366–379, 2011.

FRIEDRICH, E.; TROIS, C. Current and future greenhouse gas (GHG) emissions from the management of municipal solid waste in the eThekwini Municipality - South Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 112, p. 4071–4083, 2016.

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

GUPTA, S. K. **Integrating the informal sector for improved waste**. Private Sector &Development,Waste: the challange facing developing countries, p. 12–15, 2010.

HUNKELER, D.; LICHTENVORT, K.; REBITZER, G. **Environmental Life Cycle Costing**. ed.1. CRC Press. Florida, 2008.

IBÁ (Indústria Brasileira De Árvores). **Relatório IBÁ**. Indústria brasileira de árvores, 2015.

IBAM (Instituto Brasileiro De Administração Municipal). **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, p. 44, 2007.

IBÁÑEZ-FORÉS, V. *et al.,* Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in developing countries: Proposal of indicators and a case study. **Ecological Indicators**, v. 98, n. November 2018, p. 164–178, 2019.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua**. Página da web, 2020. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/27820-pnad-continua-taxa-de-desocupacao-e-de-12-6-e-taxa-de-subutilizacao-e-de-25-6-no-trimestre-encerrado-em-abril-de-2020. Acessado em 27 de junho de 2023.

IBGE (Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Tabela 1202 - Proporção de material reciclado em atividades industriais selecionadas. Página da Web, 2015. Disponível em:< https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1202>. Acessado em 24 de janeiro de 2023.

ILO (International Labour Organization). **ILO Data Explorer**. Página da web, 2021. Disponível em:< https://www.ilo.org/shinyapps/bulkexplorer1/>. Acessado em 27 de junho de 2023.

IPEA (Instituto Brasileiro De Pesquisa Aplicada). **Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010.

IPEA (Instituto Brasileiro De Pesquisa Aplicada). A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da Economia Solidária: **Texto para discussão**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7413/1/td_2268.PDF>. Acessado em 27 de junho de 2023.

IQBAL, A.; LIU, X.; CHEN, G.-H. Municipal solid waste: Review of best practices in application of life cycle assessment and sustainable management techniques. **Science of The Total Environment**, p. 138622, 2020.

JALIGOT, R. *et al.,* Applying value chain analysis to informal sector recycling: A case study of the Zabaleen. Resources, Conservation and Recycling, v. 114, p. 80–91, 2016.

JØRGENSEN, A. *et al.,* Methodologies for social life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 2, p. 96–103, 2008.

KHANDELWAL, H. *et al.,* Application of life cycle assessment in municipal solid waste management: A worldwide critical review. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 630–654, 2019.

KLOEPFFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 2, p. 89–95, 2008.

KLÖPFFER, W.; CIROTH, A. Is LCC relevant in a sustainability assessment? **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 16, n. 2, p. 99–101, 2011.

LAURENT, A. *et al.,* Review of LCA studies of solid waste management systems - Part I: Lessons learned and perspectives. **Waste Management**, v. 34, n. 3, p. 573–588, 2014a.

LAURENT, A. *et al.,* Review of LCA studies of solid waste management systems - Part II: Methodological guidance for a better practice. **Waste Management**, v. 34, n. 3, p. 589–606, 2014b.

LI, N.; HAN, R.; LU, X. Bibliometric analysis of research trends on solid waste reuse and recycling during 1992–2016. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 130, n. March 2017, p. 109–117, 2018.

LIMA, P. D. M. *et al.,* Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, v. 78, p. 857–870, 2018.

LIMA, N. S. S.; MANCINI, S.D. Integration of informal recycling sector in Brazil and the case of Sorocaba City. **Waste Management & Research**. v. 35(7), p. 721-729, 2017.

LINZNER, R.; LANGE, U. Role and size of informal sector in waste management – a review. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. **Waste and Resource Management**, v. 166, n. 2, p. 69–83, 2013.

MACOMBE, C. *et al.,* 2nd International Seminar in Social Life Cycle Assessment - Recent developments in assessing the social impacts of product life cycles. **International Journal of Life Cycle Assessmen**t, v. 16, n. 9, p. 940–943, 2011.

MAGRINI, C. *et al.,* A framework for sustainability assessment and prioritisation of urban waste prevention measures. **Science of the Total Environment**, v. 776, p. 145773, 2021.

MAJEED, A.; BATOOL, S. A. S. A.; CHAUDHRY, M. N. M. N. Informal Waste Management in the Developing World: Economic Contribution Through Integration with the Formal Sector. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 3, p. 679–694, 2017.

MARTIN, E. J. P. *et al.,* Life cycle comparative assessment of pet bottle waste management options: A case study for the city of Bauru, Brazil. **Waste Management**, v. 119, p. 226–234, 2021.

MARTINEZ-SANCHEZ, V.; KROMANN, M. A.; ASTRUP, T. F. Life cycle costing of waste management systems: Overview, calculation principles and case studies. **Waste Management**, v. 36, p. 343–355, 2015.

MARTINEZ-SANCHEZ, V. *et al.,* Estimation of marginal costs at existing waste treatment facilities. **Waste Management**, v. 50, p. 364–375, 2016.

MASSARUTTO, A.; CARLI, A. DE; GRAFFI, M. Material and energy recovery in integrated waste management systems: A life-cycle costing approach. **Waste Management**, v. 31, n. 9–10, p. 2102–2111, 2011.

MEDINA, M. Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. Global Development Network. **Resources, Conservation and recycling**, v. 31, p. 51–69, 2000.

MEDINA, M. **The informal recycling sector in developing countries**. Grid Lines, v. 44, n. 36, p. 1–4, 2008.

MEDINA, M. **Solid Wastes, Poverty and the Environment in Developing Country Cities Challenges and Opportunities**. UNU WIDER Working Paper Series, v. 23, p. 1–17, 2010.

MENIKPURA, S.; GHEEWALA, S. H.; BONNET, S. Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand. **Waste Management & Research**: The Journal for a Sustainable Circular Economy, v. 30, n. 7, p. 708–719, 16, 2012a.

MENIKPURA, S. N. M., GHEEWALA, S.H., BONNET, S. Sustainability assessment of municipal solid waste management in Sri Lanka: problems and prospects. **Journal of Material Cycles and Waste Management**. 14, 181–192, 2012b.

MENIKPURA, S. N. M. *et al.*, Evaluation of the Effect of Recycling on Sustainability of Municipal Solid Waste Management in Thailand. **Waste and Biomass Valorization**, v. 4, n. 2, p. 237–257, 19, 2013.

MET (Ministério do Trabalho e Previdência). **Relação Anual de Informações Sociais - RAIS**, 2020. Disponível em:<http://bi.mte.gov.br>. Acessado em 08 de maio de 2020.

MET (Ministério do Trabalho e Previdência). **Dados estatísticos – Saúde e Segurança do Trabalhador**, 2019. Disponível em:<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/dados-de-acidentes-do-trabalho>. Acessado em 21 de setembro de 2021.

MORAIS, P. DE *et al.*, Environmental assessment of existing and alternative options for management of municipal solid waste in Brazil. **Waste Management**, v. 78, p. 857–870, 2018.

MNCR (Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis). **Anuário da Reciclagem**, 2020. Disponível em:< https://www.mncr.org.br/biblioteca>. Acessado em 20 de junho de 2023. 2020.

MULYA, K. S. *et al.,* A systematic review of life cycle assessment of solid waste management: Methodological trends and prospects. **Science of the Total Environment**, v. 831, p. 154903, 2022.

OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico). **Carga horária de trabalho**, 2019. Disponível em:<https://data.oecd.org/jobs.htm>. Acessado em: 21 de abril de 2022.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 1**. Horas de Trabalho (Indústria), 1919.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 29**. Trabalho Forçado, 1930.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 87**. Liberdade Sindical e Proteção do Direito Sindical. 1948.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 100**. Igualdade de Remuneração.1951.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 111**. Discriminação, Emprego e Ocupação,1958.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 118**. Igualdade de Tratamento (Segurança Social), 1962.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 121**. Prestações em caso de Acidentes de Trabalho, 1964

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 128**. Prestações de Invalidez, Velhice e de Sobrevivência, 1967.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 130**. Cuidados Médicos e Prestações por Doença, 1969.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 138**. Idade Mínima para trabalho. 1973.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 157**. Manutenção dos Direitos em matéria de Segurança Social, 1982.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº161**. Serviços de Saúde do Trabalho. 1985.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº 168**. Promoção e Proteção do Emprego (Desemprego), 1988.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº190**. Piores Formas de Trabalho Infantil. 1999.

OIT (Organização Internacional do Trabalho). **Convenção nº183**. Proteção da Maternidade, 2000.

PARAGAHAWEWA, U., BLACKETT, P., SMALL, B. **Social Life Cycle Analysis**: Some Methodological Issues and Potential Application to Cheese Production in New Zealand. Agresearch, 2009.

PAES, M.X. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Integração de Indicadores Ambientais e Econômicos por meio da Avaliação do Ciclo de Vida. **Tese** (**doutorado)**. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência de Tecnologia de Sorocaba. Sorocaba-SP, 2018.

PAES, M.X., DE MEDEIROS, G.A., MANCINI, S.D., RIBEIRO, F.D.M. & PUPPIM DE OLIVEIRA, J.A. Transition to circular economy in Brazil: A look at the municipal solid waste management in the state of São Paulo. **Management Decision**, 59:1827-1840, 2019

PAES, M. X.; MEDEIROS, G. A.; MANCINI, S. D.; GASOL, C; PONS, J. R; DURANY, X. G. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: The case of Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 121370, 2020b.

PAES, M. X. *et al.*, Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, p. 119848, 2020a;

PAPO, M.; CORONA, B. Life cycle sustainability assessment of non-beverage bottles made of recycled High-Density Polyethylene. **Journal of Cleaner Production**, v. 378, n. October, p. 134442, 2022.

PETTI, L.; SERRELI, M.; DI CESARE, S. Systematic literature review in social life cycle assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 3, p. 422–431, 2018.

RAMIREZ, P. K. S. *et al.*, Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: Methodological framework. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 8, p. 1515–1523, 2014.

RAMIREZ, P. K. S. *et al.*, Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 2: application in Natura's cocoa soap. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 1, p. 106–117, 2016.

RAMOS HUARACHI, D. A. *et al.*, Past and future of Social Life Cycle Assessment: Historical evolution and research trends. **Journal of Cleaner Production**, v. 264, p. 121506, 2020.

RANCURA, S. Aspectos ecológicos e sociais da coleta informal de resíduos sólidos urbanos do município de São Carlos – SP. **Dissertação** (**Mestrado)**. p. 99. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. São Carlos, 2005.

REICH, M. C. Economic assessment of municipal waste management systems - Case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 3, p. 253–263, 2005.

RENDON, M.; ESPLUGA-TRENC, J.; VERD, J. M. Assessing the functional relationship between the formal and informal waste systems: A case-study in Catalonia (Spain). **Waste Management**, v. 131, p. 483–490, 2021.

RIGAMONTI, L.; GROSSO, M.; GIUGLIANO, M. Life cycle assessment of sub-units composing a MSW management system. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16–17, p. 1652–1662, 2010.

RUSSI, D., AYUSO S., PALMER, P.F. **El Análisis Social del Ciclo de Vida como instrumento de RSC: el punto de vista de las empresas españolas**, Càtedra Mango de Responsabilidad Social Corporativa, 2012. Disponível em: <http://mango.esci.upf.edu/DOCS/ Documents-de-treball/12-ACVS.pdf>. Acessado em 26 de abril de 2022.

RUTKOWSKI, J.; RUTKOWSKI, E. Recycling in Brasil: Paper and Plastic Supply Chain. **Resources**, v. 6, n. 3, p. 43, 2017.

SAADE, M.R.M., GOMES, V., DA SILVA, M.G. *et al.,* Investigating transparency regarding ecoinvent users' system model choices. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 24, 1–5, 2019.

SALA, S.; FARIOLI, F.; ZAMAGNI, A. Life cycle sustainability assessment in the context of sustainability science progress (part 2). **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 9, p. 1686–1697, 2013.

SANTOS, R. A. Gestão de Resíduos Sólidos e Aspectos do Cooperativismo no Município de Bauru - SP. **Dissertação** (**Mestrado)**. Universidade Estadual Paulista. Engenharia de Produção. Bauru, 2016.

SÃO PAULO (Estado). **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. São Paulo -SP, 2013.

SÃO PAULO SEM SEGREDOS. Bauru Relação de cidades a até 100 km. **Página da *web***, 2020. Disponível em:<https://www.emsampa.com.br/rotas_dist100/bauru.htm>. Acessado em 15 de outubro de 2023.

SEADE (Fundação Sistema Estadual). **Perfil dos Municípios Paulistas – Bauru**. Disponível em:<http://www.perfil.seade.gov.br/>. São Paulo, 2019. Acessado em 29 de janeiro de 2020.

SEMMA (Secretaria Municipal De Meio Ambiente De Bauru). Chefe de departamento. **Entrevista**. [Outubro de 2019]. Entrevistador: Alline Marchesin Costa.

SCACHETTI, M. T. Avaliação Consequencial do Ciclo de Vida: discussão e aplicação comparativa com a abordagem atribucional. **Dissertação** (**Mestrado)**. Universidade de São Paulo Escola de Engenharia de São Carlos Departamento de Engenharia de Produção. São Carlos, 2016.

SCHEINBERG, A. **Slim pickin's: Supporting waste pickers in the ecological modernization of urban**. v. 5, n. 3, p. 257–270, 2006.

SCHEINBERG, A. *et al.,* **Economic Aspects of the Informal Sector in Solid Waste Management**. GTZ (German Technical Cooperation), v. 1, n. October, 2010.

SCHEINBERG, A. **Informal Sector Integration and High-performance Recycling: Evidence from 20 Cities**. Manchester Women in Informal Employment Globalizing and Organizing - WIEGO, 2012.

SHARMA, B. K.; CHANDEL, M. K. Life cycle cost analysis of municipal solid waste management scenarios for Mumbai, India. **Waste Management**, v. 124, p. 293–302, 2021.

SNIS (Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento). Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasil. **Série Histórica**, 2019. Disponível em:< http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acessado em 05 de dezembro de 2019.

SOUSA, V. *et al.*, Life-cycle cost as basis to optimize waste collection in space and time: A methodology for obtaining a detailed cost breakdown structure. **Waste Management and Research**, v. 36, n. 9, p. 788–799, 2018.

SOUZA, A. *et al.,* A novel social life cycle assessment method for determining workers' human development: a case study of the sugarcane biorefineries in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, n. 0123456789, 2021.

SOUZA, R. G. *et al.,* Definition of sustainability impact categories based on stakeholder perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 105, p. 41–51, 2015.

SUREAU, S., MAZIJN, B., GARRIDO, S.R., ACHTEN, W.M.J. Social life-cycle assessment frameworks: a review of criteria and indicators proposed to assess social and socioeconomic impacts. **International Journal of Life Cycle Assessment**. 23, 904e920. 2018.

TETRAPAK. **Sustainability Report**. Relatório de Sustentabilidade, 2013.

TIAN, H; WANG, X; TONG, Y.W. Chapter 9 - Sustainability assessment: focusing on different technologies recovering energy from waste. **Waste-to-Energy**. Ed: Jingzheng Ren, Academic Press, pg. 235-264, 2020.

TOMIĆ, T.; SCHNEIDER, D. R. Circular economy in waste management – Socio-economic effect of changes in waste management system structure. **Journal of Environmental Management**, v. 267, n. April, 2020.

TOKEDE, O., TRAVERSO, M. Implementing the guidelines for social life cycle assessment: past, present, and future. **International Journal of Life Cycle Assessment,** 25, 1910–1929 (2020).

UGAYA, C. M. L. *et al.,* **Desenvolvimento de rotas estratégicas nacionais de bases de dados de ACV**, 2019. Disponível em: < https://acv.ibict.br/wp-content/uploads/2019/06/Rota-Estrat%C3%A9gica-de-Base-de-Dados-de-ACV-Brasil-rev1.pdf>. Acessado em 30 de junho de 2023.

UMAIR, S.; BJÖRKLUND, A.; PETERSEN, E. E. Social impact assessment of informal recycling of electronic ICT waste in Pakistan using UNEP SETAC guidelines. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 95, p. 46–57, 2015.

UNDP (United Nations Development Programe). **Gender Inequality Index - GII**, 2019. Disponível em: <http://hdr.undp.org/en/faq-page/gender-inequality-index-gii#t294n2422>. Acessado em 16 de agosto de 2020.

UNEP-SETAC, LIFE CYCLE INITIATIVE. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products Management**. United Nations Environment Programme. Paris, 2009. Disponível em: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf>. Acessado em 11 de setembro de 2018.

UNEP-SETAC, LIFE CYCLE INITIATIVE. **Towards a life cycle sustainability assessment. Making informed choices on products**. United Nations Environment Programme. Paris, 2011.

UNEP-SETAC, LIFE CYCLE INITIATIVE. **The Methodological Sheets for Sub-categories in Social life cycle assessment** (**S-LCA)**. United Nations Environment Programme. Paris, 2013.

UNEP-SETAC, LIFE CYCLE INITIATIVE. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations**. United Nations Environment Programme. Paris, 2020. Disponível em: <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf>. 2020. Acessado em 01 de maio de 2020.

UNEP-SETAC LIFE CYCLE INITIATIVE. **Methodological Sheets for Subcategories in Social Life Cycle Assessment** (**S-LCA).** United Nations Environment Programme, p. 150. Paris, 2021.

VAN HAASTER, B. *et al.*, Development of a methodological framework for social life-cycle assessment of novel technologies. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 3, p. 423–440, 2017.

VERGARA, S. E. S. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Municipal Solid Waste and the Environment: A Global Perspective. In: GADGIL, A.; LIVERMAN, D. M. (Eds.). Annual Review of Environment and Resources, Vol 37. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37p. 277–310, 2016

VIAU, S. *et al.*, Substitution modelling in life cycle assessment of municipal solid waste management. **Waste Management**, v. 102, p. 795–803, 2020.

VINYES, E. *et al.*, Application of LCSA to used cooking oil waste management. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 2, p. 445–455, 2013.

VISENTIN, C. *et al.*, Life cycle sustainability assessment: A systematic literature review through the application perspective, indicators, and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 270, 2020.

WILSON, D. C. *et al.*, Building recycling rates through the informal sector. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 629–635, fev. 2009.

WILSON, D. C. *et al.*, Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. **Waste Management and Research**, v. 30, n. 3, p. 237–254, 2012.

WILSON, D. C. C. D. C.; VELIS, C.; CHEESEMAN, C. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat International**, v. 30, n. 4, p. 797–808, dez. 2006.

WORRELL, E.; REUTER, M. A. **Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists**. Elsevier, 2014.

YANG, H. *et al.*, Waste management, informal recycling, environmental pollution and public health. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 72, n. 3, p. 237–243, 2018.

YILDIZ-GEYHAN, E.; ALTUN-ÇIFTÇIOĞLU, G. A.; KADIRGAN, M. A. N. Social life cycle assessment of different packaging waste collection system. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 124, n. February 2016, p. 1–12, 2017.

YILDIZ-GEYHAN, E. *et al.*, Environmental and social life cycle sustainability assessment of different packaging waste collection systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 143, n. December 2018, p. 119–132, 2019.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e métodos**. 5ªed. Bookman, 2015.

ZHANG, J. *et al.*, Sustainable municipal waste management strategies through life cycle assessment method: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 287, n. November 2020, p. 112238, 2021.

ZHENG, X. *et al.*, Life-cycle sustainability assessment of pavement maintenance alternatives: Methodology and case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 659–672, 2019.

Zhou Z, Chi Y, Dong J, Tang Y, Ni M. Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: a case study on waste management systems in China. **Journal of Cleaner Production**. 210:1005–1014. 2019.

# 8 APÊNCICES

Tabela 24: Questionário estruturado para guiar as entrevistas com catadores informais e comerciantes de recicláveis.

| | Coleta Informal | Comércio de recicláveis responsável | Comércio de recicláveis trabalhador |
|---|---|---|---|
| 1.1 | Você se sente representado por alguma organização que te ajude na luta pelos seus direitos como trabalhador? | Existe alguma organização que te representa e luta pelos seus direitos como comerciante de materiais recicláveis? | Você se sente representado por alguma organização que te ajude na luta pelos seus direitos como trabalhador? |
| 2.1 | Qual sua idade? Tem algum menor que te ajuda? Ele frequenta a escola? | Possui menores de 18 anos trabalhando no local? Qual a idade? Eles frequentam a escola? | Qual a sua idade? |
| 3.1 | Quanto você ganha por mês com a venda de materiais recicláveis? | Qual o salário dos funcionários? | Quanto você ganha por mês com essa atividade? |
| 4.1 | Quantas horas você trabalha por dia? Quantos dias na semana? | Qual a jornada diária semanal do trabalhador? | Quantas horas você trabalha por dia? Quantos dias na semana? |
| 4.2 | Recebe compensação por horas extras? | Há compensação por horas extras? | Recebe compensação por horas extras? |
| 5.1 | Anotar sexo | Quantas mulheres trabalham no local? | Anotar sexo |
| 5.2 | 3.1 | Homens recebem o mesmo salário do que as mulheres para as mesmas funções? | 3.1 |
| 5.3 | 5.1Você se sente discriminado no seu trabalho? 5.2 Por quem? | Há discriminação no ambiente de trabalho? | 5.1Você se sente discriminado no seu trabalho? 5.2 Por quem? |
| 6.1 | Você usa equipamento de proteção (ex: luva, bota ou máscara)? | Os funcionários recebem equipamento de proteção (ex: luva, bota ou máscara)? | Você usa equipamento de proteção (ex: luva, bota ou máscara)? |
| 6.2 | Você já se machucou ou sofreu algum acidente no trabalho (ex: queda ou cortes)? | Já ocorreram acidentes ou algum funcionário já se machucou no trabalho? | Você já se machucou ou sofreu algum acidente no trabalho (ex: queda ou cortes)? |
| 6.3 | Você sente dores ou tem alguma doença causada pelo trabalho? | Algum funcionário já foi afastado do trabalho por doenças relacionadas ao trabalho? | Você sente dores ou tem alguma doença causada pelo trabalho? |
| 7.1 | Você paga INSS ou tem MEI? | Os funcionários tem direitos trabalhistas? | Você tem direito trabalhista (ex: INSS ou MEI)? |
| 8.1 | Você conversa com os moradores para separarem os recicláveis ou como separar? | Vocês fazem alguma ação para envolvimento da comunidade (ex: conscientização para separação de recicláveis)? | NA |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 25: Respostas dos questionários aplicados.

| | Coleta Informal | | | Comércio de recicláveis | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Catador 1 | Catador 2 | Catador 3 | Responsável | Trabalhador 1 | Trabalhador 2 | Trabalhador 3 |
| 1.1 | Não | Não | Não | Não | Não | Não | Não |
| 2.1 | idosa | idoso | >18 | Não | idosa | >18 | >18 |
| 3.1 | R$ 600,00/mês | R$ 350,00/mês | R$ 1.670,00 | R$ 35/dia | R$ 900,00/mês | R$ 1.200,00/mês | R$ 1.000,00/mês |
| 4.1 | 3 horas por dia 6 vezes na semana | 4 horas por dia 3 vezes na semana | 8 horas por dia 5 vezes na semana | 8 horas por dia 5 vezes na semana | 8 horas por dia 5 vezes na semana | 8 horas por dia 5 vezes na semana | 8 horas por dia 5 vezes na semana |
| 4.2 | - | - | - | - | - | - | - |
| 5.1 | Fem. | Masc. | Masc. | 6 mulheres e 3 homens | Fem. | Masc. | Masc. |
| 5.2 | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim | Sim |
| 5.3 | Não | Não | Não | - | Não | Sim, população | Não |
| 6.1 | Não | Não | Não | funcionárias da triagem usam luvas | Luva | Bota | Bota |
| 6.2 | Não | Não | Não | Não, muito raramente ocorre algum pequeno corte | Não | Não | Não |
| 6.3 | Não | Dores nas costas e cansaço | Não | Não | Dores nas costas e cansaço | Dores nas costas e cansaço | Não |
| 7.1 | Não | Não | Não | 3 funcionários são MEI | Sim | Sim | Sim |
| 8.1 | Não | Sim | Não | Não | Não | Não | Não |
| 9.1 | Sim | Sim | Sim | 9 | Sim | Sim | Sim |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 26: Lista de processos de inventários de dados secundários utilizados

| **Entradas** | **Dado Ecoinvent 3.8** |
|---|---|
| Transporte - caminhão | Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated {BR}\| market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, unregulated |
| Transporte - caminhonete | Transport, freight, light commercial vehicle, unregulated {ZA}\| transport, freight, light commercial vehicle, unregulated |
| Óleo lubrificante da prensa | Lubricating oil {RoW}\| market for lubricating oil \| Cut-off, U |
| Fitilho para fardos | Wire drawing, steel {RoW}\| processing \| Cut-off, U |
| Eletricidade | Electricity, low voltage {BR-South-eastern grid} \| market for electricity, low voltage \| Cut-off, U |
| Água | Tap water {BR}\| tap water production, conventional treatment \| Cut-off, U |
| Descarte de rejeitos a céu aberto | Municipal solid waste {GLO}\| treatment of municipal solid waste, open dump, very wet infiltration class (1000mm) \| Cut-off, U |
| Queima de rejeitos a céu aberto | Municipal solid waste {GLO}\| treatment of municipal solid waste, open burning \| Cut-off, U |
| Efluente - esgoto | Wastewater, average {RoW}\| treatment of, capacity 1E9l/year \| Cut-off, U |
| Matéria-prima evitada - Papelão | Corrugated board box {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - Papel | Paper, newsprint {RoW}\| paper production, newsprint, virgin |
| Matéria-prima evitada - PET | Polyethylene terephthalate, granulate, amorphus {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - PEAD | Polyethylene, high density, granulate, {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - PP | Polypropylene, granutale, {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - Plástico filme | Packaging filme, low density polyethylene {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - PVC | Polyvinylidenchloride, granulate {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - PS | Polystyrene, expandable {RoW}\| production |
| Matéria-prima evitada - Aço | Steel, unalloyed {RoW}\| steel production, converter, unalloyed |
| Matéria-prima evitada - Alumínio | Aluminium, primary, ingot {Area, South America} \| aluminium production |
| Matéria-prima evitada - Vidro | Packaging glass, green {RoW}\| production |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 27: Resultados da Avaliação de Impacto - Normalização; modelo ReCiPe 2016 v1.1 midpoint, Hierarchist (H)

| Categoria de impacto | Total | Transporte de coleta (caminhão) | Transporte de coleta (veículo leve) | Transporte de rejeitos (caminhão) | Fitilho (fardos) | Óleo lubrificante (prensa) | Energia elétrica | Água | Descarte de rejeitos a céu aberto | Queima de rejeitos a céu aberto | Tratamento de efluente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Transporte | | | Processamento | | | | Descarte | | |
| AG | 9,71E-03 | 5,57E-04 | 3,90E-04 | 1,01E-04 | 7,54E-05 | 1,92E-05 | 2,43E-04 | 5,65E-06 | 4,92E-03 | 3,39E-03 | 1,06E-05 |
| FMP | 6,75E-03 | 2,38E-04 | 2,18E-04 | 4,33E-05 | 3,19E-05 | 1,24E-05 | 1,03E-04 | 4,69E-06 | 1,26E-05 | 6,08E-03 | 9,39E-06 |
| AT | 2,92E-03 | 2,85E-04 | 2,70E-04 | 5,18E-05 | 3,42E-05 | 1,86E-05 | 1,56E-04 | 7,50E-06 | 2,71E-05 | 2,06E-03 | 1,44E-05 |
| ED | 5,27E-01 | 1,19E-03 | 1,00E-03 | 2,17E-04 | 6,78E-04 | 1,32E-04 | 3,58E-04 | 3,74E-05 | 5,17E-01 | 5,47E-03 | 5,81E-04 |
| EM | 8,16E-03 | 1,14E-04 | 7,93E-06 | 2,08E-05 | 8,29E-06 | 5,90E-07 | 3,21E-05 | 4,98E-07 | 7,78E-03 | 0,00E+00 | 1,91E-04 |
| THNC | 1,54E-02 | 1,15E-04 | 1,53E-04 | 2,10E-05 | 1,98E-05 | 4,70E-06 | 4,74E-05 | 4,69E-06 | 1,43E-02 | 7,24E-04 | 1,46E-05 |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 28: Resultados da Avaliação de Impacto - Caracterização; modelo ReCiPe 2016 v1.1 midpoint, Hierarchist (H)

| Categoria de impacto | Unidade | Total | Transporte de coleta (caminhão) | Transporte de coleta (leve) | Transporte de rejeitos (caminhão) | Fitilho (fardos) | Óleo lubrificante (prensa) | Energia elétrica | Água | Descarte de rejeitos a céu aberto | Queima de rejeitos a céu aberto | Tratamento de efluente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Transporte | | | Processamento | | | | Descarte | | |
| AG | kg CO2 eq | 9,71E-03 | 5,57E-04 | 3,90E-04 | 1,01E-04 | 7,54E-05 | 1,92E-05 | 2,43E-04 | 5,65E-06 | 4,92E-03 | 3,39E-03 | 1,06E-05 |
| FMP | kg PM2.5 eq | 6,75E-03 | 2,38E-04 | 2,18E-04 | 4,33E-05 | 3,19E-05 | 1,24E-05 | 1,03E-04 | 4,69E-06 | 1,26E-05 | 6,08E-03 | 9,39E-06 |
| AT | kg SO2 eq | 2,92E-03 | 2,85E-04 | 2,70E-04 | 5,18E-05 | 3,42E-05 | 1,86E-05 | 1,56E-04 | 7,50E-06 | 2,71E-05 | 2,06E-03 | 1,44E-05 |
| ED | kg P eq | 5,27E-01 | 1,19E-03 | 1,00E-03 | 2,17E-04 | 6,78E-04 | 1,32E-04 | 3,58E-04 | 3,74E-05 | 5,17E-01 | 5,47E-03 | 5,81E-04 |
| EM | kg N eq | 8,16E-03 | 1,14E-04 | 7,93E-06 | 2,08E-05 | 8,29E-06 | 5,90E-07 | 3,21E-05 | 4,98E-07 | 7,78E-03 | 0,00E+00 | 1,91E-04 |
| THNC | kg 1,4-DCB | 1,54E-02 | 1,15E-04 | 1,53E-04 | 2,10E-05 | 1,98E-05 | 4,70E-06 | 4,74E-05 | 4,69E-06 | 1,43E-02 | 7,24E-04 | 1,46E-05 |

AG - Aquecimento global; FMP - Formação de material particulado fino; ED - Eutrofização de águas doces; EM - Eutrofização marinha; AT - Acidificação terrestre; THNC - Toxicidade humana não-carcinogênica

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 29: Análise da contribuição dos processos do sistema nos impactos relativos à cada categoria avaliada.

| Categoria de impacto/ Unidade | | Total | Transporte de coleta (caminhão) | Transporte de coleta (veículo leve) | Transporte de rejeitos (caminhão) | Fitilho | Óleo lubrificante (prensa) | Eletricidade | Água | Descarte de rejeitos a céu aberto | Queima de rejeitos a céu aberto | Tratamento de Efluente |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AG | % | 100 | 5,73 | 4,02 | 1,04 | 0,78 | 0,20 | 2,50 | 0,06 | 50,66 | 34,91 | 0,11 |
| FMP | % | 100 | 3,53 | 3,23 | 0,64 | 0,47 | 0,18 | 1,52 | 0,07 | 0,19 | 90,02 | 0,14 |
| AT | % | 100 | 9,75 | 9,22 | 1,77 | 1,17 | 0,64 | 5,32 | 0,26 | 0,93 | 70,45 | 0,49 |
| ED | % | 100 | 0,23 | 0,19 | 0,04 | 0,13 | 0,03 | 0,07 | 0,01 | 98,17 | 1,04 | 0,11 |
| EM | % | 100 | 1,40 | 0,10 | 0,25 | 0,10 | 0,01 | 0,39 | 0,01 | 95,39 | 0,00 | 2,35 |
| THNC | % | 100 | 0,75 | 0,99 | 0,14 | 0,13 | 0,03 | 0,31 | 0,03 | 92,84 | 4,69 | 0,09 |

Fonte: elaborado pela autora

Tabela 30: Resultados normalizados da análise de sensibilidade

| Categoria de impacto | Eficiência de 95% | Eficiência de 92,5% | Eficiência de 85% |
|---|---|---|---|
| AG | -1,83E-01 | -1,80E-01 | -1,72E-01 |
| FMP | -9,03E-02 | -8,80E-02 | -8,19E-02 |
| AT | -1,20E-01 | -1,19E-01 | -1,17E-01 |
| ED | -6,49E-01 | -4,53E-01 | 6,98E-02 |
| EM | -1,69E-02 | -1,39E-02 | -6,13E-03 |
| THNC | -2,59E-02 | -2,03E-02 | -5,24E-03 |

Fonte: elaborado pela autora

**Detalhamento dos Requisitos Básicos utilizados na Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S)**

1. Liberdade para associação/sindicalização e negociação coletiva:

Nesta categoria o Requisito Básico é a evidência de que os funcionários da organização são sindicalizados (pelo menos um funcionário) ou possuem alguma organização que os represente, como garante a Convenção nº87 da OIT (1948). Se esse requisito for atendido na organização, ela será avaliada como no nível B. Caso a organização não atenda a esse requisito, ou seja, não haja evidências de organização de classe, ela deve ser classificada de acordo com a pontuação do país na "Pontuação de Direitos dos Trabalhadores" – em inglês: *"Worker Rights Score –WORKER"* (CINGRANELLI *et al.,* 2011). Se o país tiver nota 0 ou 1 o nível será C e se for igual a 2 será classificada como nível D. Neste estudo, ela será enquadrada no nível C, já que a organização se encontra no Brasil que tem pontuação 1 (CINGRANELLI, 2011). O *WORKERS* é um indicador que se refere ao direito à negociação coletiva, às condições mínimas de trabalho e à liberdade de reunião e associação, incluindo os direitos dos cidadãos de se reunirem livremente e se associarem a outras pessoas em partidos políticos, sindicatos, organizações culturais ou outros grupos (CINGRANELLI *et al.,* 2011).

2. Trabalho infantil:

Seu Requisito Básico é a falta de evidência de trabalho infantil. A Convenção nº138 da OIT (1973) define idade mínima para a realização de trabalhos que possam ser considerados perigosos ou moralmente duvidosos em 18 anos de idade. Então, organizações que não apresentem menores de 18 anos trabalhando serão classificadas como no nível B. E organizações que apresentem menores de 18 anos trabalhando serão classificadas no nível C se a organização estiver em um contexto onde o trabalho infantil é uma prática comum, mas a organização não pratica as piores formas de trabalho infantil de acordo com a Convenção nº182 (OIT, 1999) ou a criança também frequenta a escola. Caso contrário, a organização é avaliada no nível D.

3. Salário justo:

Para essa categoria o requisito básico é que o menor salário seja igual ou maior que o salário mínimo do país ("*minimum wage*"), que no Brasil em 2019 foi estabelecido em R$ 998,00 por mês (BRASIL, 2019a). A diferença entre uma avaliação de nível C e uma avaliação de nível D é definida como o nível médio dos salários dos trabalhadores, que deve ser igual ou superior ao salário de subsistência do país ("*living wage*"). Como referência a "*living wage*" foi considerado o salário necessário que é calculado pelo Departamento

Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (DIEESE) para o cenário brasileiro, que 2019 era de R$ 4.021,39 (DIEESE, 2019).

4. Horas de trabalho:

O Requisito Básico de acordo com o definido pela Convenção nº 1 e nº 30 da OIT (OIT, 1919; 1930) e pela Lei de Consolidação das Leis do Trabalho do Brasil (BRASIL, 1943) é que a carga horária de trabalho diária de um trabalhador não deve ultrapassar 8 horas por dia e nem 44 horas por semana. A organização é avaliada no nível C se a carga horária máxima de um trabalhador ultrapassa 8 horas por dia ou 44 horas semanal, mas é inferior ao número médio de horas trabalhadas por semana no setor / país ou há compensações por horas extras. Se for superior, e não houver compensações a organização é avaliada no nível D. No caso a carga horária diária média no Brasil é de 39,5 (OCDE, 2019). Por tanto, se não houver compensações para horas extras a organização será enquadrada no nível D.

5. Igualdade de oportunidades/discriminação:

Para essa subcategoria o RB analisa se há evidências de discriminação no ambiente de trabalho de acordo com a Convenção nº.100 sobre Discriminação em relação ao Emprego e Ocupação (OIT, 1958). Em especial a discriminação de gênero de acordo com a Convenção nº111 sobre Remuneração Igual para homens e mulheres para trabalhos de igual valor (OIT, 1951). Caso haja evidências de discriminação no ambiente de trabalho ou as mulheres recebam salários menores do que os homens para as mesmas funções, a organização será classificada no nível D, pois o Brasil está enquadrado como alto (0,408) no Índice de Desigualdade de Gênero de 2019 *"Gender Inequality Index - GII"* (UNDP, 2019). O GII mostra a perda de desenvolvimento humano potencial devido à disparidade entre as realizações femininas e masculinas em três dimensões: saúde reprodutiva, empoderamento e mercado de trabalho. Ele varia entre 0 e 1, sendo que valores maiores de GII indicam maiores desigualdades entre mulheres e homens e, portanto, maiores prejuízos ao desenvolvimento humano (UNDP, 2019).

6. Saúde e segurança:

O Requisito Básico para a organização ser classificada como no nível B nessa subcategoria é a presença de política, programa, diretrizes ou ações relacionadas à saúde e segurança, em conformidade com a Convenção da OIT nº161 (OIT, 1985). Se a organização não possuir ações para prevenção de acidentes será classificada como nível C ou D, de acordo com a porcentagem de trabalhadores que relatarem já terem sofrido acidentes ou sofrerem por doenças relacionadas ao trabalho. Se o número for menor do que a porcentagem

nacional de 1,23% em 2018 (MTE, 2019) será classificada como nível C e se for maior no nível D.

Para este estudo foram consideradas medidas em prol da saúde de segurança dos trabalhadores, de acordo com àquelas exigidas pela atividade de trabalho (ABES, 2020): calças e camisas de mangas compridas; botinas ou calçados fechados de trabalho; luvas; máscaras respiratórias; protetor facial ou óculos de proteção; carrinho de plataforma; mesa de separação; esteira; empilhadeira; elevador de carga; treinamentos sobre segurança e saúde ocupacional.

7. Benefícios sociais/segurança social

O RB dessa subcategoria é que os trabalhadores tenham acesso aos benefícios e seguridade social previstos nas Convenções da OIT nº 130, 128, 121, 168, 118, 157 e 183. Tais benefícios são garantidos pelo governo brasileiro através do Instituto Nacional do Seguro Social – INSS, para todos os trabalhadores registrados em carteira de trabalho; para os Microempreendedores Individuais (MEI); ou para trabalhadores autônomos que façam a contribuição individual com o INSS. Caso os trabalhadores não possuam nenhum vínculo formal e a taxa de informalidade seja menor do que a média nacional a organização será classificada como no nível C e se for maior no nível D. Em 2020, a taxa de informalidade da população ocupada no Brasil foi de 38% (IBGE, 2020).

8. Participação da comunidade:

O Requisito Básico é a evidência de que a organização considera e realiza ações para a participação da comunidade. Caso esse RB não seja atendido a organização será classificada como no nível C ou D, dependendo da existência de registros de casos comprovados de que a comunidade foi afetada negativamente pelas ações ou produtos da organização. Caso haja um registro de casos comprovados nos últimos três anos é avaliada no nível D, se não houver a organização é avaliada no nível C.

9. Emprego Local

O RB para essa subcategoria é que pelo menos 50% do total de funcionários seja empregado localmente. Caso o RB não seja atendido, deve-se analisar a proporção de emprego da população do país onde a organização se encontra. Essa proporção é definida como a proporção da população em idade ativa de um país que está empregada e, quanto mais elevada, significa que uma maior parte da população do país está empregada (RAMIREZ *et al.*, 2014). Uma organização que não atende ao RB em um país em que a proporção de emprego da população é menor do que 50% será classificada como no nível C, se essa proporção for igual ou maior do que 50% a classificação será no nível D. Segundo

dados de ILO (2021), a proporção da população empregada no Brasil em 2020 era de 51,1%, portanto a classificação das organizações que não atingirem o RB será D.