



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E

AMBIENTAL

– MESTRADO –

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO SISTEMA DE COLETA
SELETIVA. ESTUDO DE CASO: JOÃO PESSOA- PB.**

Por

Raíssa Barreto Lins

*Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção
do grau de Mestre*

João Pessoa – Paraíba

Março de 2020



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL
– MESTRADO –

**ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO SISTEMA DE COLETA
SELETIVA. ESTUDO DE CASO: JOÃO PESSOA- PB.**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil e
Ambiental da Universidade Federal da
Paraíba, como parte dos requisitos para
a obtenção do título de Mestre.

Raíssa Barreto Lins

Orientador: Prof.^a Dr.^a Claudia Coutinho Nóbrega

Co-Orientadora: Prof.^a Dra.^a Elisângela Maria R. Rocha

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L759a Lins, Raissa Barreto.

ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DO SISTEMA DE COLETA
SELETIVA. ESTUDO DE CASO: JOÃO PESSOA- PB. / Raissa
Barreto Lins. - João Pessoa, 2020.
108f. : il.

Orientação: Claudia Coutinho Nóbrega Nóbrega.

Coorientação: Elisângela Maria Rodrigues Rocha Rocha.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Resíduos Sólidos Domiciliares. 2. Resíduos
Recicláveis. 3. Avaliação de Ciclo de Vida. 4. Custo de
Ciclo de Vida. 5. Benefício. 6. Impacto. I. Nóbrega,
Claudia Coutinho Nóbrega. II. Rocha, Elisângela Maria
Rodrigues Rocha. III. Título.

UFPB/BC

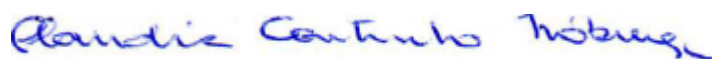
**“ANÁLISE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE SISTEMA DE
COLETA SELETIVA. ESTUDO DE CASO: JOÃO PESSOA- PB.”**

RAÍSSA BARRETO LINS

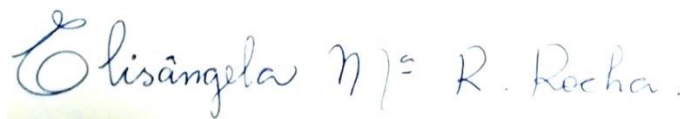
**Dissertação aprovada em 25/03/2020 como requisito para a obtenção do título de
Mestre/Doutor em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da
Universidade Federal da Paraíba.**

Período Letivo: 2019.2.

BANCA EXAMINADORA:



**Prof.^a Dr.^a Claudia Coutinho Nóbrega– UFPB
(Orientadora)**



**Prof.^a Dr.^a Elisângela Maria R. Rocha – UFPB
(Co-Orientadora)**



**Prof. Dr. Adriano Rolim – UFPB
(Examinador Interno)**



**Prof.^a Dr.^a Régia Lúcia Lopes – IFRN
(Examinador Externo)**

João Pessoa/PB

2020

A Deus, por sua infinita misericórdia e por ter me concedido a fortaleza necessária para cumprimento dessa etapa.

Dedico.

*“Que a tua vida não seja estéril.
Sê útil. Deixa rasto.”*
São Josemaria Escrivá

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me concedido o dom da vida, a saúde, a sabedoria e a força necessária para persistir em meus objetivos, especialmente nesta etapa da minha vida.

Aos meus pais, Sergio Lins e Gianna Barreto, por sempre acreditarem em mim, por todo investimento em minha educação e por estarem ao meu lado em todas as conquistas.

Ao meu marido, André, por toda paciência, compreensão, companheirismo, amor e encorajamento.

À toda minha família, em especial a minha avó, Dijane Barretto, e meu irmão Sérgio Neto, por todo amor e por sempre torcerem por mim.

À minha querida orientadora, Prof^a. Claudia, por toda amizade, paciência, atenção, conhecimento, experiências e oportunidades dadas. Serei sempre muito grata por tudo que vivemos juntas até aqui e sou muito feliz por tê-la ao meu lado em tantas etapas importantes de minha vida! Muito obrigada!

À minha coorientadora, Prof^a. Elisângela, que com carinho e sabedoria muito contribuiu para o meu aprendizado, através de suas disciplinas, correções e exemplo! Gratidão por me adotar como uma de “suas meninas”.

Às Professoras Mônica Carvalho, Aline Silva, Hozana Raquel, Wanessa Martins, Valéria Ibañez-Forés, Aline Remígio, Cristine Pimentel, Patrícia Simões e Miriam Nicácio, por toda ajuda, torcida, incentivo à academia e ensinamentos adquiridos.

À Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR, por todo apoio e assistência na obtenção dos dados, e aos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa que sempre me receberam com atenção.

À CAPES, pelo fomento que permitiu a realização deste mestrado.

À Universidade Federal da Paraíba, por todo conhecimento adquirido.

A todos os professores e funcionários do PPGECAm.

Aos amigos e colegas que estiveram comigo ao longo desses dois anos, em especial Camila, Natália, Aurélia, Ysa, Mariana e Samara. A vocês, meu agradecimento e carinho.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental, minha gratidão e amor.

RESUMO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o Custo do Ciclo de Vida (CCV) são possíveis alternativas para identificação dos impactos gerados pela gestão de resíduos sólidos domiciliares e, conseqüentemente, de possíveis soluções que busquem minimizá-los, ou até mesmo eliminá-los. O presente estudo tem como objetivo a análise ambiental e econômica do ciclo de vida do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares do Município de João Pessoa/PB, no período de 2015 a 2018, utilizando as metodologias ACV e CCV. Para a análise ambiental utilizou-se o software SimaPro 9.0.0.49, base de dados da Ecoinvent 3.5 e método de avaliação do impacto CML, adotando-se as categorias de impacto aquecimento global, destruição da camada de ozônio, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização. A análise econômica elencou os custos e benefícios oriundos do programa de coleta seletiva da área de estudo adotada e, por fim, fez-se uso da ferramenta Análise Benefício/Custo. Os resultados obtidos determinaram que durante o período estudado 99,53% das emissões de gases geradas pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa é proveniente da categoria de impacto aquecimento global e que as etapas que mais geraram impactos foram os atravessadores e o aterro sanitário, sobretudo os processos de transporte e funcionamento do aterro sanitário. A única etapa que produziu benefícios líquidos foi empresas, devido aos processos de reciclagem nela inseridos, porém as mesmas não superaram os impactos ambientais gerados. No âmbito econômico, a coleta seletiva de João Pessoa, mesmo com o pequeno quantitativo coletado, possui resultados favoráveis, sendo sua receita superior as suas despesas. Entretanto, medidas que busquem a redução dos seus custos e maior captação de recicláveis a serem atendidos pelo programa, tornam-se essenciais para a melhoria nas remunerações e qualidade de vida dos associados e ganhos monetários para a Prefeitura de João Pessoa, implicando assim em ganhos para o ambiente, a infraestrutura, a economia e a sociedade da capital paraibana.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos Domiciliares, Resíduos Recicláveis, Avaliação de Ciclo de Vida, Custo de Ciclo de Vida, Benefício, Impacto.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) and Life Cycle Costing (LCC) represent alternatives for identifying the impacts generated by municipal solid waste management and possible solutions that seek to minimize or even eliminate those impacts. The present study aims to analyze the environmental and economic life cycle of the municipal solid waste selective collection system in the city of João Pessoa, Brazil, from 2015 to 2018, using the LCA and LCC methodologies. The environmental analysis was performed using SimaPro 9.0.0.49 software, with the Ecoinvent 3.5 database and CML impact assessment method, adopting the impact categories of global warming potential, ozone layer depletion, photochemical oxidation, acidification, and eutrophication. The economic analysis listed the costs and benefits arising from the selective collection program of the study area, followed by the use of the benefit-cost analysis tool. The obtained results indicate that, during the studied period, 99.53% of the emissions generated by the selective collection program is derived from the global warming impact category and that the stages responsible for most impacts were the middlemen and the landfill, especially the transportation processes and landfill operation. The only stage generating net benefits was "companies", due to the recycling processes inserted in it. However, this stage does not overcome the environmental impacts generated. In the economic sphere, João Pessoa's waste selective collection, despite the small amount collected, has shown favorable results, with income exceeding expenses. Nonetheless, measures that seek to reduce costs and increase the collection of recyclables in the waste management program, become essential for improving the remuneration and quality of life of members as well as monetary benefits for the city of João Pessoa, thus implying into positive gains for the environment, infrastructure, economy, and society.

KEYWORDS: Municipal Solid Waste, Recyclable Waste, Life Cycle Assessment, Life Cycle Costing, Benefit, Impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios brasileiros atendidos pela coleta seletiva ao longo dos anos.	24
Figura 2: Estrutura metodológica da Avaliação do Ciclo de Vida. (Fonte: ABNT ISO 14.040, 2014).	26
Figura 3: Modelos de ACV usados em estudos selecionados, expresso em números de estudos. (Fonte: KHANDELWAL et al., 2018)	30
Figura 4: Fluxograma das etapas a serem cumpridas no presente estudo.	39
Figura 5: Localização do município de João Pessoa.	40
Figura 6: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de João Pessoa (Fonte: Adaptado Pimentel, 2017).	41
Figura 7: Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos no Município de João Pessoa (Fonte: Garcia, 2016).	42
Figura 8: Linha base do Sistema de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB.	43
Figura 9: Área atendida pelo serviço de coleta seletiva em João Pessoa.	44
Figura 10: Linha base do Sistema de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB adaptado para este estudo.	48
Figura 11: Sistema de Coleta Seletiva realizado para os RSD da área de estudo e a fronteira utilizada referente aos fluxos específicos dos resíduos sólidos recicláveis gerados até a disposição final.	49
Figura 12: Distribuição quantitativa dos resíduos sólidos domiciliares coletados em João Pessoa/PB.	67
Figura 13: Contribuição da coleta seletiva para a categoria aquecimento global, período de 2015 a 2018.	68
Figura 14: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria aquecimento global, período de 2005 a 2015.	69
Figura 15: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de depleção da camada de ozônio, período de 2015 a 2018.	70
Figura 16: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria depleção da camada de ozônio, período de 2005 a 2015.	71
Figura 17: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de oxidação fotoquímica, período de 2015 a 2018.	72
Figura 18: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria oxidação fotoquímica, período de 2005 a 2015.	73
Figura 19: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de acidificação, período de 2015 a 2018.	74
Figura 20: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria acidificação, período de 2005 a 2015.	75
Figura 21: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de eutrofização, período de 2015 a 2018.	76
Figura 22: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria eutrofização, período de 2015 a 2018.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Bairros beneficiados pelo serviço dos de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB. ...	44
Quadro 2: Localização dos Núcleos de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB.	45
Quadro 3: Atravessadores por material selecionados para o presente estudo.	46
Quadro 4: Empresas por material selecionados para o presente estudo e suas localizações.	47
Quadro 5: Etapas analisadas pela ACV.	50
Quadro 6: Processos adotados pelas etapas analisadas pela ACV da coleta seletiva de João Pessoa.	52
Quadro 7: Categorias de impacto e unidades consideradas.	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Preço de venda de 1 tonelada de materiais recicláveis em alguns municípios brasileiros. (Fonte: Adaptado de CEMPRES, 2018).	25
Tabela 2: Redução dos custos de produção, a partir da utilização de material reciclável. (Fonte: Adaptado de CEMPRES, 2013).	25
Tabela 3: Distância média estimada entre domicílios e núcleos.	53
Tabela 4: Consumo de Energia e Água nos núcleos de coleta seletiva entre os anos de 2015 e 2018.	54
Tabela 5: Trecho 1 realizado pelos atravessadores para cada ano em estudo.	55
Tabela 6: Trecho 2 realizado pelos atravessadores para cada ano em estudo.	56
Tabela 7: Produção de resíduos por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	63
Tabela 8: Quantitativo de resíduos vendidos pelos núcleos de João Pessoa por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	64
Tabela 9: Resíduos recicláveis vendidos pela central de triagem de João Pessoa por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	64
Tabela 10: Total de resíduos recicláveis vendidos para indústrias recicladoras em João Pessoa entre 2015 e 2018 (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	65
Tabela 11: Grau de Recuperação de Recicláveis para o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018.	65
Tabela 12: Grau de Recuperação de Recicláveis nos Núcleos e na Central de Triagem do Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018.	66
Tabela 13: Índice de Resíduos para o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018.	66
Tabela 14: Benefício líquido gerado pela reciclagem de 1 tonelada de reciclável.	77
Tabela 15: Gastos anuais com aluguel de imóveis da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).	79
Tabela 16: Quantitativo de resíduos vendidos pelo núcleo do Cabo Branco por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	79
Tabela 17: Gastos anuais com mão-de-obra da coleta seletiva.	81
Tabela 18: Gastos anuais com energia e água e esgoto da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).	82
Tabela 19: Gastos anuais com transporte e combustível da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).	82
Tabela 20: Custo Médio Anual da Coleta Seletiva subsidiada pela EMLUR nos Anos 2015, 2016, 2017 e 2018. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).	83
Tabela 21: Valor de venda dos materiais recicláveis dos núcleos e central de triagem aos atravessadores. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).	85
Tabela 22: Benefícios anuais com a venda de recicláveis pelos associados.	86
Tabela 23: Benefícios diretos anuais da coleta seletiva entre os anos de 2015 à 2018.	87
Tabela 24: Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se apenas benefícios e custos diretos.	87
Tabela 25: Benefícios indiretos do não aterramento de resíduos recicláveis de João Pessoa entre os anos de 2015 à 2018.	88
Tabela 26: Benefícios indiretos dos custos evitados com coleta de resíduos recicláveis de João Pessoa entre os anos de 2015 à 2018.	88

Tabela 27: Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se benefícios diretos e indiretos e custos diretos.....	89
Tabela 28: Valores anuais arrecadados com a cobrança da TCR em João Pessoa (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).	90
Tabela 29: Energia economizada pela reciclagem dos materiais coletados pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018.....	92

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Atravessadores
ABC	Análise Benefício/Custo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AI	Aluguel de Imóveis
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AS	Aterro Sanitário
ASMJP	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
CAGED	Cadastro Geral de Empregados e Desempregados
CCV	Custo do Ciclo de Vida
CEA	Custos Evitados com o não aterramento
CEC	Custos Evitados com a coleta regular
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CML	Institute of Environmental Scienses
CR	Coleta Regular
CS	Coleta Seletiva
CT	Central de Triagem
E	Empresas
EMLUR	Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana
EPI	Equipamento de Proteção Individual
GEE	Gases do Efeito Estufa
GRR	Grau de Recuperação de Recicláveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IR	Índice de Resíduos
MO	Mão de Obra
N	Núcleos
PMGIRS-JP	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa

PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S	Serviços
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SIMAPRO	System for Integrated Environmental Assessment of Products
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.
TC	Transporte e Combustível
UF	Unidade Funcional
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UNEP	United Nations Environment Programme
V	Venda de Recicláveis pelos Associados

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO18

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS21

2.1 OBJETIVO GERAL21

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS21

CAPÍTULO III

3 REFERENCIAL TEÓRICO22

3.1 GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS22

3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)26

3.2.1 Avaliação de Ciclo de Vida Aplicada aos Resíduos Sólidos28

3.2.2 SIMAPRO30

3.3 CUSTO DO CICLO DE VIDA (CCV).....32

3.3.1 Custo de Ciclo de Vida Aplicado aos Resíduos Sólidos.....34

3.3.2 Análise Benefício/Custo36

CAPÍTULO IV

4 METODOLOGIA39

4.1 LEVANTAMENTO DOS DADOS BIBLIOGRÁFICOS39

4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE COLETA SELETIVA NA ÁREA DE ESTUDO ADOTADA40

4.2.1 Domicílios43

4.2.2 Núcleos e Central de Triagem45

4.2.3 Atravessadores.....46

4.2.4 Empresas Recicladoras47

4.3 ANÁLISE AMBIENTAL DA COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA48

4.3.1 Definição de Objetivo e Escopo48

4.3.2 Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)49

4.3.3 Avaliação de Impacto57

4.3.4 Interpretação dos Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida58

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA DA COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA.....58

4.4.1 Custos.....59

4.4.2 Benefícios.....	60
CAPÍTULO V	
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
5.1 QUANTITATIVO DE RESÍDUOS	63
5.2 ANÁLISE AMBIENTAL DA COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA.....	68
5.3 ANÁLISE ECONÔMICA DA COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA.....	79
5.3.1. Custos Diretos	79
5.3.2 Benefícios Diretos	85
5.3.3 Benefícios Indiretos	88
CAPÍTULO VI	
6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
APÊNDICE A	105
APÊNDICE B.....	107

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) associada a variedade destes são fatores que dificultam a sua gestão adequada. Sabendo-se que a geração e a deposição de resíduos são atividades diárias da população, o controle dos impactos ambientais, sociais e econômicos oriundos deste cenário torna-se cada vez mais difícil, fazendo-se necessário um entendimento profundo do mesmo.

Um fator agravante para o entendimento desta temática é oriundo da repugnação do homem em relação a seus resíduos, limitando o direcionamento da política pública às ações de coleta e ao afastamento dos resíduos, ou seja, em medidas reparadoras e corretivas do problema ambiental (ARAÚJO, 2014).

Os RSU podem ser classificados em compostáveis, recicláveis e não recicláveis. Entendendo-se como compostáveis àqueles de constituição basicamente orgânica, recicláveis como os que podem e devem ser reincorporados ao ciclo de produção de matérias primas e/ou novos produtos e os não recicláveis são aqueles que não se enquadram nas outras duas classificações supracitadas e, portanto, seriam os únicos que estariam destinados aos aterros sanitários. Sendo assim, a destinação adequada para os materiais passíveis de reciclagem deve ser a sua integração em programas de coleta seletiva de materiais recicláveis afim de proporcionar uma gestão ambientalmente adequada de resíduos através da minimização dos materiais destinados ao aterro sanitário, da diminuição da pressão sobre a extração de matéria prima diretamente na natureza e da permissão da sua reincorporação no setor produtivo.

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017), a geração total de resíduos sólidos urbanos no Brasil, no ano de 2017, foi de um total anual de 78,4 milhões de toneladas no país. De acordo com a ABRELPE, do montante coletado, 59,1% dos resíduos foram dispostos em aterros sanitários e 40,9% despejados em locais inadequados em todo território brasileiro, acarretando em danos à saúde da população e impactos de diversas ordens. A região Nordeste, ainda segundo a ABRELPE (2017), produziu, no ano em questão, 20.310.072 toneladas/ano de RSU, sendo 79,1% atendidos pelo serviço de coleta. A nível estadual, a ABRELPE (2017) relata que na

Paraíba foram coletadas 2.294 toneladas/ano de RSU, estando entre os seis estados mais geradores de resíduos da região nordestina.

Para Garcia et al. (2015), a geração per capita de resíduos sólidos no município de João Pessoa, em 2013, foi de 342,41 kg/hab.ano dos quais estima-se que menos de 2% foram encaminhados para reciclagem.

Além disso, segundo Ibáñez-Forés et al. (2017a), os estudos acerca da gestão de resíduos sólidos municipais no Brasil, estão em sua maioria concentrados na região sudeste, constatando-se um negligenciamento em relação ao nordeste brasileiro, onde o município de João Pessoa (objeto deste estudo) está localizado. De acordo com a ABRELPE, no ano de 2017, o município de João Pessoa foi a quinta capital do Brasil com o maior índice de coleta seletiva do País, estando à frente de cidades como Curitiba, Recife, Maceió e Brasília (ABRELPE, 2017).

Assim, torna-se importante a promoção de estudos, sobretudo em locais ainda pouco explorados, que visem a identificação dos impactos ambientais, sociais e econômicos ao longo de todo o ciclo de vida da gestão de resíduos sólidos, a fim de subsidiar a otimização deste serviço que é complexo e de relevante importância para a manutenção do saneamento básico em escala local e global.

Nesse contexto, com o propósito de contribuir com os estudos anteriormente feitos nesta temática, esse projeto propõe-se a realizar a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e o Custo de Ciclo de Vida (CCV) do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares no Município de João Pessoa/PB, Brasil e assim analisar e propor melhorias, caso seja necessário, para a gestão de resíduos sólidos em termos técnicos, ambientais e econômicos. Ressalta-se que o programa de coleta seletiva do município de João Pessoa já foi objeto de análise de estudos de ACV (GARCIA, 2016; MARTINS, 2017; NÓBREGA et al, 2019), porém, os mesmos possuíam objetivos diferentes e foram realizados em parceria com a Universitat de Jaume I, Espanha. Sendo assim, o presente estudo é o primeiro trabalho realizado completamente na Universidade Federal da Paraíba.

Esta dissertação é composta de seis capítulos, sendo o primeiro esta introdução, o segundo os objetivos geral e específicos. Já, o terceiro trata da fundamentação teórica, que aborda os seguintes itens: gestão de resíduos sólidos urbanos, análise de ciclo de vida e custo de ciclo de vida. O quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada para execução da pesquisa. No quinto capítulo são apresentados os resultados e discussões divididos em análise ambiental e análise econômica e, por fim, o capítulo 6 traz as conclusões deste trabalho. Em seguida, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas para a

realização desta pesquisa e os apêndices onde estão as tabelas de emissões das etapas de coleta seletiva de João Pessoa para os anos de 2015 a 2018 e os processos adotados.

CAPÍTULO II

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar o ciclo de vida do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares sob os pontos de vista ambiental e econômico no Município de João Pessoa/PB, no período de 2015 a 2018.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de coleta seletiva de resíduos domiciliares no município de João Pessoa
- ✓ Analisar os custos e os benefícios ao longo do ciclo de vida do sistema de coleta seletiva de resíduos domiciliares no município de João Pessoa.
- ✓ Determinar o Custo do Ciclo de Vida (CCV) do sistema de coleta seletiva de resíduos domiciliares no município de João Pessoa.

CAPÍTULO III

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está organizado em três partes, afim de atender a metodologia da pesquisa e alcançar os resultados esperados. Na primeira parte analisou-se os estudos realizados no âmbito da gestão de resíduos sólidos, sobretudo dos recicláveis, no mundo e no Brasil. Na segunda conceituou-se a Análise do Ciclo de Vida, bem como suas aplicações e programa utilizado para obtenção de resultados nesta temática. Na terceira parte do referencial teórico definiu-se o Custo do Ciclo de Vida, sua abordagem em alguns estudos de casos e a metodologia utilizada para análise econômica no presente trabalho.

3.1 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

A temática dos resíduos sólidos é amplamente estudada na atualidade. No período compreendido entre os anos de 1993 e 2013, um estudo bibliométrico e cientométrico realizado por Deus et al. (2015) verificou que a produção científica referente a resíduos triplicou ao longo das duas décadas em questão e mais que duplicou entre 2003 e 2013. Segundo os autores, os Estados Unidos, a China e a Índia são os maiores publicadores mundiais sobre o tema, sendo o Brasil o nono colocado nesta classificação global. Além disso, segundo os referidos autores, a maior parte dos estudos analisados aborda os resíduos sólidos urbanos de maneira geral (43,91%) e a gestão de resíduos sólidos urbanos (17,83%).

A geração de resíduos sólidos é contínua, fato que torna a sua gestão complexa e de fundamental importância. Por este motivo, alguns estudos vêm surgindo com o objetivo de facilitar e entender melhor esta problemática.

Na China, país que passa por um rápido desenvolvimento econômico e consumismo desregrado, Gu et al. (2018) realizaram um estudo no município de Suzhou, onde coletaram dados, entre o verão de 2011 até a primavera de 2017, oriundos de residências, limpezas de ruas, lojas comerciais e instituições e concluíram que a produção municipal de recicláveis era composta de resíduos alimentares (54,3%), plástico (18,1%), papel (10,8%) e têxtil (6,7%). Os autores recomendaram que as autoridades locais promovam sobretudo ações referentes a compostagem e a reciclagem. Em estudo realizado por Dangi et al. (2011) no município de Katmandu, Nepal, foi feita a coleta em 336 domicílios, restaurantes, hotéis, escolas e ruas que permitiu a identificação de três tipos principais de resíduos: resíduos

orgânicos (71%), plásticos (12%) e papel (7,5%). Os autores concluíram que as formas de recuperação mais adequadas são a compostagem e a reciclagem.

No distrito de Nablus, na Palestina, constatou-se que a maioria das localidades analisadas possuem um sistema de coleta de resíduos e que os recicláveis compõem 16,7% do total de resíduos identificados. Além disso, verificou-se que a maioria dos resíduos analisados eram de origem orgânica (65,1%) evidenciando, assim, a prática da compostagem ou da recuperação em termos de alimentação animal. Sendo assim, ressalta-se que hábitos familiares como a separação de resíduos na fonte, por exemplo, são fundamentais para obtenção de resultados mais eficazes e, por isso, a realização de conscientização nesta temática torna-se essencial (Al-KHATIB et al., 2010).

Embora tratem-se de localidades completamente diferentes entre si, os estudos supracitados, e alguns outros similares já realizados (MIEZAH et al., 2015; DENAFAS et al., 2014), permitem concluir que qualitativamente os resíduos gerados pela população são compostos majoritariamente por resíduos orgânicos e recicláveis. Por este motivo, as disposições finais mais apropriadas tornam-se respectivamente a compostagem e a reciclagem.

Para a problemática dos resíduos recicláveis, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010) possui dentre seus instrumentos o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis. Estes locais, além de promoverem a ocupação e gerarem renda a pessoas físicas de baixa renda, possuem o fundamental papel de destinar corretamente esta parcela dos resíduos que podem e devem ser reincorporadas no sistema, evitando assim a extração de novas matérias primas e aumentando a vida útil de aterros sanitários.

Dutra, Yamane e Siman (2018) relatam que, embora seja de fundamental importância, as organizações de catadores passam por sucessivas dificuldades em exercer seu papel, sendo estas detentoras de infraestrutura precária, dependência de subsídios públicos, falta de organização nesses ambientes, dentre outros. Para os autores, que analisaram o mercado de resíduos sólidos recicláveis em 16 cidades no estado do Espírito Santo, é necessário que seja feito um investimento para a adequação e expansão da capacidade de triagem das organizações de catadores destinados aos galpões e a compra de equipamentos para os mesmos. Desta forma, acredita-se que além de trazer um rápido retorno econômico, o investimento também gerará vagas de emprego neste meio, vantagens estas que podem ser evidenciadas pelo fato da maioria das organizações trabalharem hoje

com eficiência muito baixa e mesmo assim serem capazes de entregar 18,53% de resíduos recicláveis para reciclagem, tendendo esse número a crescer consideravelmente após as mudanças e investimentos propostos (DUTRA, YAMANE E SIMAN, 2018).

Segundo Ribeiro e Besen (2007), os programas de coleta seletiva formal enfrentam dificuldades de ordem técnica, organizacional e econômica. Para Oliveira et al. (2019), as precárias condições de trabalho dos catadores das associações ocorrem devido a fatores como a falta de capacitação e organização do trabalho, a competição pelo material reciclável com catadores autônomos, a baixa implementação da prática cooperativista e a escassez de recursos materiais e tecnológicos.

De acordo com Santos e Pires (2017), os principais setores industriais voltados para as atividades recicladoras são o alumínio, o papel e o plástico. Segundo os autores em questão, no Brasil, os materiais mais reciclados são as latas de alumínio e o PET.

Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRES Review (2019), a quantidade de municípios brasileiros atendidos pela coleta seletiva está em constante crescimento. De acordo com o CEMPRES, no ano de 2018, 22% dos municípios brasileiros já eram atendidos pelo serviço, totalizando 1227 municípios (Figura 1), sendo esse número mais rapidamente crescente após a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010.

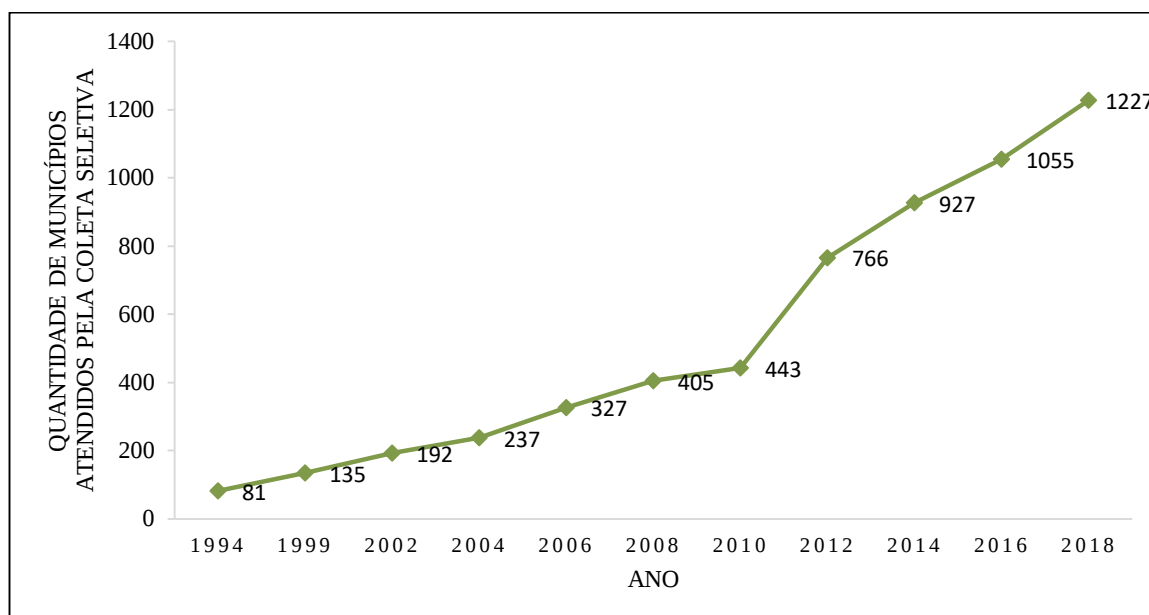


Figura 1: Municípios brasileiros atendidos pela coleta seletiva ao longo dos anos. (Fonte: Adaptado de CEMPRES, 2019).

Em relação a parte econômica, acredita-se que a economia gerada pela prática da reciclagem seja de 1,4 a 3 bilhões de reais todos os anos, porém se todo o resíduo passível de reciclagem fosse atendido por este serviço, essa economia passaria a ser cerca de 8 bilhões de reais anuais (IPEA, 2010).

De acordo com o CEMPRE (2018), o preço pago pelos materiais recicláveis é muito variável de acordo com sua tipologia e município. Além disso, o valor também varia pela maneira em que o resíduo se encontra no momento da venda, prensado (P) e limpo (L), por exemplo. Na Tabela 1, o preço é mostrado em real e refere-se a 1 tonelada de resíduo vendida pelas associações e cooperativas de tais municípios.

Tabela 1: Preço de venda de 1 tonelada de materiais recicláveis em alguns municípios brasileiros. (Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2018).

Município	Papelão	Papel branco	Latas alumínio	Vidro	PET
São Paulo (SP)	R\$580 PL	R\$800 L	R\$5300 L	R\$180 L	R\$2800 P
Belo Horizonte (MG)	R\$590 PL	R\$900 PL	R\$4000 PL	R\$70 L	R\$3000 PL
Nova União (MG)	R\$590 PL	R\$1000 L	R\$4300 L	R\$70 L	R\$3000 P
Mesquita (RJ)	R\$350 L	R\$450 L	R\$3500 PL	R\$60 L	R\$1900 PL
Cambará (PR)	R\$390 P	R\$300	R\$3600 P	R\$50	R\$1500 P
Florianópolis (SC)	R\$410 L	R\$460 L	R\$4200 L	R\$80 L	R\$1100 PL

Segundo o CEMPRE (2013), a viabilidade da reciclagem é de âmbito ambiental e econômico, pois além de evitar danos ambientais provenientes da retirada de novas matérias primas, por exemplo, gera vantagens econômicas. A Tabela 2 mostra a comparação entre os custos de produção oriundos da utilização da matéria-prima virgem e do material reciclado, em real por tonelada, e, conseqüentemente, a vantagem econômica existente.

Tabela 2: Redução dos custos de produção, a partir da utilização de material reciclável. (Fonte: Adaptado de CEMPRE, 2013).

Material	Matéria-prima virgem	Matéria-prima reciclada	Vantagem econômica
Aço	R\$ 552,00	R\$ 425,00	R\$ 127,00
Alumínio	R\$ 6.162,00	R\$ 3.447,00	R\$ 2.715,00
Celulose	R\$ 687,00	R\$ 357,00	R\$ 331,00
Plástico	R\$ 1.790,00	R\$ 627,00	R\$ 1.163,00
Vidro	R\$ 263,00	R\$ 143,00	R\$ 120,00

Sendo assim é possível concluir que a maior vantagem econômica é obtida na reciclagem do alumínio, seguido do plástico, e a menor na reciclagem do vidro.

3.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Segundo Finkbeiner et al. (2010), a ACV é uma importante ferramenta de gestão ambiental consolidada que possui padrões internacionais.

Segundo a Norma ISO 14.040 (2014), Avaliação do Ciclo de Vida pode ser descrita como uma “[...]técnica para avaliar aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto ao longo de toda sua vida, desde a aquisição da matéria prima até sua disposição em forma de resíduo, mediante elaboração de um inventário de ingressos e saídas do sistema, análise dos impactos ambientais potenciais associados a estas entradas e egressos e, interpretação dos resultados apresentados na etapa de apreciação do inventário”. De maneira geral, a norma em questão define ACV como uma maneira de responder questões no âmbito ambiental, como os impactos gerados nesta esfera.

De acordo com ISO 14.040 (ABNT, 2014), o desenvolvimento da ACV é dividida em quatro etapas: Definição do Objetivo e Escopo; Análise do Inventário; Análise de Impacto e Interpretação dos resultados (Figura 2).

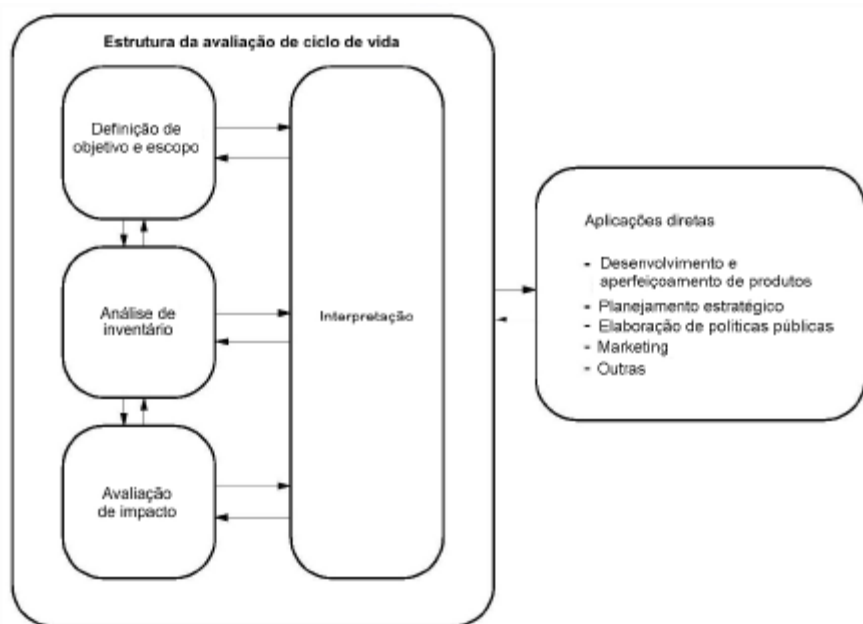


Figura 2: Estrutura metodológica da Avaliação do Ciclo de Vida. (Fonte: ABNT ISO 14.040, 2014).

Segundo Goedkoop et al. (2016), a ACV é uma ferramenta para quantificar o desempenho ambiental dos produtos, para isso considera-se o seu ciclo de vida completo.

As principais aplicações de uma ACV são a identificação de oportunidades de melhoria através da identificação de pontos críticos ambientais, a análise da contribuição ambiental de cada etapa do ciclo de vida, comparação entre produtos sob o ponto de vista ambiental, base para métricas padronizadas e a identificação dos principais indicadores de desempenho usados nas empresas para gerenciamento do ciclo de vida e suporte a decisões (GOEDKOOPE et al., 2016). Segundo o mesmo documento, é relevante citar que a ACV representa um modelo do ciclo de vida de um produto, serviço ou sistema, ou seja, trata-se da simplificação de uma realidade complexa e, por estes motivos, há uma distorção da realidade de alguma maneira. O desafio para um profissional de ACV é desenvolver o modelo de forma que as simplificações e distorções não influenciem demais os resultados.

Para Wolf (2014), a ACV é adequada para o aperfeiçoamento ambiental de qualquer tipo de produto ou tecnologia, pois esta ferramenta é capaz de potencializar diferentes instrumentos de política de rotulagem ambiental, tomar decisões estratégicas de tecnologia e, monitorar a eficiência dos recursos nacionais. Além disso, o autor em questão também argumenta que a ferramenta pode auxiliar na redução de emissões de gases de efeito estufa ou pressões tóxicas sob a questão dos resíduos, orientando a sociedade na produção de recursos e consumos mais eficientes.

A utilização da ferramenta em questão teve início na década de 1980, com o surgimento da gestão preventiva de desenvolvimento de técnicas e metodologias que consideram o âmbito ambiental para a tomada de decisões e medidas preventivas em grande parte dos países do mundo (MAGRINI, 2004). Segundo Fullana Puig (1997), a motivação para a preocupação nesta época ocorre devido à crise do petróleo e o consequente impacto gerado com o meio ambiente.

Na literatura internacional e nacional existem diversos autores que fazem uso da ferramenta em questão para realizar os mais diversos estudos.

Carvalho et al. (2019) aplicaram a metodologia ACV à geração de eletricidade a partir do bagaço de cana-de-açúcar e do diesel em usinas termelétricas, afim de verificar o potencial de mitigação das mudanças climáticas com o uso destes processos. Como resultado, os autores encontraram que o uso do bagaço da cana apresentou pegada de carbono muito inferior ao processo termoeletrico a diesel (ou seja, após converter todas as emissões de gases de efeito estufa em carbono equivalente, notou-se que o bagaço de cana obteve resultados de menor impacto ambiental quando comparado aos demais processos), embora o mesmo ainda gere emissões significativas oriundas principalmente de transporte, colheita, uso de fertilizantes e irrigação.

O uso de ACV para analisar cultivos na agricultura tem sido cada vez mais comum. Lee et al. (2020) utilizaram a análise do ciclo de vida na produção agrícola de milho, afim de demonstrar a variabilidade espaço-temporal dos impactos ambientais em 12 estados do Centro-Oeste dos Estados Unidos entre os anos de 2000 e 2008 e melhorar seu desempenho ambiental. Após analisarem as categorias de aquecimento global, eutrofização e acidificação, os autores concluíram que os impactos ambientais nas áreas de estudo variaram principalmente de acordo com os tipos de solo, precipitação, quantidade de fertilizantes e elevação. Um estudo semelhante foi realizado por Borzęcka et al. (2018), para analisar o cultivo de azeitonas em três diferentes cenários, concluindo que o uso de fertilizantes é a etapa de maior impacto ambiental.

Outro uso possível da metodologia em questão é para analisar consumos. Bonoli et al. (2019) desenvolveram um estudo de avaliação ambiental aplicada aos sistemas hídricos na região de Emília-Romanha (norte da Itália), afim de analisar o consumo urbano de água, estipulando assim cenários de análise.

Emami et al. (2019) avaliaram os impactos ambientais oriundos de duas construções, um edifício residencial e uma casa, localizados na Finlândia. Porém, através do estudo, os autores concluíram que ainda é necessário uma análise mais aprofundada para uso da ferramenta de ACV no setor de construção, já que os resultados encontrados revelaram divergências.

3.2.1 Avaliação de Ciclo de Vida Aplicada aos Resíduos Sólidos

O uso da Avaliação de Ciclo de Vida no setor dos resíduos sólidos passou a ocorrer a partir de 1988, período em que emergiram problemas relacionados a gestão dos mesmos (CURRAN, 2006).

Khandelwal et al. (2018) realizaram uma análise criteriosa em 153 trabalhos que tratam sobre a aplicação da avaliação do ciclo de vida, na gestão municipal de resíduos sólidos, em todo o mundo entre os anos de 2013 e 2018. Segundo os autores, estes estudos ocorreram principalmente em países de renda mais alta, concentrando-se sobretudo na Ásia e na Europa.

Em Sakarya, Turquia, realizou-se um estudo em que a análise do ciclo de vida foi utilizada para determinar um cenário de gestão de resíduos sólidos urbanos menos impactante. Para isto, estabeleceu-se cenários que possibilitassem a comparação entre os impactos ambientais gerados pelo uso de aterro sanitário sem recuperação de biogás,

reciclagem, compostagem e incineração. Como resultado, obteve-se que o uso associado de compostagem, incineração e reciclagem é o que gera maiores benefícios ambientais, porém, o mesmo pode não ser economicamente sustentável (YAY, 2015).

Chester (2019) aplicou ACV em seu estudo afim comparar os impactos a saúde humana, a qualidade ambiental e as mudanças climáticas oriundas da gestão de resíduos perigosos e não perigosos do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, concluiu que os impactos gerados são perigosos para os seres humanos e para o meio ambiente, além de onerosos para o governo dos Estados Unidos.

Nóbrega et al. (2019) fizeram uso de ACV afim de analisar parte do programa de coleta seletiva de papel e papelão no município de João Pessoa-PB, considerando para isso as etapas de coleta regular, coleta seletiva, reciclagem, disposição final e transportes intermediários, concluindo que o programa é responsável pela geração de emissões sendo estas compensadas, ou não, pelos benefícios líquidos existentes.

Além disso, a ACV também permite comparar os impactos ambientais oriundos do mesmo método. Ma et al. (2014), por exemplo, estudaram três diferentes tipos de processos de incineração e concluíram através da análise ambiental que a incineração com absorção a seco é o melhor processo ecológico em termos de impacto ambiental.

Segundo Ibáñez-Forés et al. (2017a), a ACV é a ferramenta mais aceita para quantificar os impactos ambientais oriundos da gestão de resíduos sólidos municipais, porém os estudos nesta temática na América Central e do Sul ainda são muito limitados.

Em análise do desempenho ambiental da implementação da coleta seletiva em um sistema de gestão de resíduos municipais brasileiro entre 2005 e 2015, verificou-se que, mesmo atendendo uma pequena quantidade de resíduo, a incorporação da coleta seletiva gera benefícios ambientais significativos (IBÁÑEZ-FORÉS ET AL, 2017b).

Meneu (2019) fez uso da ferramenta ACV afim de identificar os impactos ambientais oriundo de um sistema de gestão de resíduos domiciliares em um município brasileiro, tanto para um cenário atual quanto para cenários alternativos de melhora. Como conclusão, a autora teve que o melhor cenário ambiental reúne a otimização máxima da coleta seletiva, a separação da matéria orgânica e o uso de práticas de compostagem.

Outra maneira de estudar ACV nesta temática refere-se a análise dos impactos ambientais oriundos do programa de coleta seletiva de um determinado material, como o papel (GARCIA et al., 2016a) e o plástico (GARCIA et al., 2016b), ou de embalagens (FERREIRA et al., 2014).

Assim, a ACV é considerada uma ferramenta adequada para desenvolver estudos referentes à quantificação de impactos ambientais relacionados com diferentes cenários da gestão de resíduos sólidos (CLIFT et al., 2000) e apoiar a tomada de decisões referentes ao planejamento e otimização dos mesmos, promovendo indicações para estratégias de gerenciamento de resíduos (KHANDELWAL et al., 2018). Entretanto, embora a aplicação de ACV nesta temática seja de relevante importância, a existência de estudos neste assunto depende dos problemas de RSU existentes, da importância dada pela comunidade as questões ambientais e da disponibilidade de fundos (YADAV e SAMADDER, 2018).

3.2.2 SIMAPRO

Para a realização de estudos de ACV em sistemas de gerenciamento de resíduos e obtenção de seus impactos no meio ambiente, faz-se uso de softwares que auxiliam na coleta, organização, análise de dados e avaliação de emissões (KHANDELWAL et al., 2018).

Na Figura 3 é demonstrada a comparação feita entre os modelos de ACV utilizados em trabalhos publicados referentes à gestão de resíduos sólidos entre os anos de 2013 e 2018, sendo “NS”, referente aos estudos que não incorporaram modelos de ACV para simplificar os sistemas de Gestão de Resíduos Sólidos Municipais ou não especificaram o modelo utilizado.

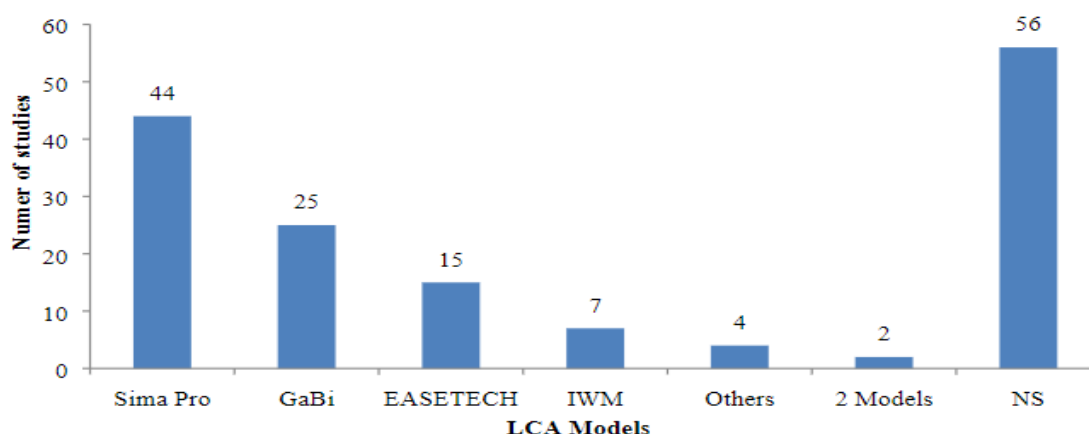


Figura 3: Modelos de ACV usados em estudos selecionados, expresso em números de estudos. (Fonte: KHANDELWAL et al., 2018).

KHANDELWAL et al. (2018) constataram que cerca de 29% dos estudos analisados fizeram uso do software SIMAPRO, seguido do GaBi (16%) e do EASETECH (9,80%).

Além disso, ratificando esta afirmação, segundo o Goedkoop et al. (2016), o software de ACV em questão é o mais amplamente utilizado no mundo.

O SIMAPRO é um software de estudos, de Análise de Ciclo de Vida, que contém bancos de dados e metodologias de avaliação de impacto. Segundo a empresa que desenvolveu o SIMAPRO, PRé Consultants, os bancos de dados instalados no mesmo possuem informações referentes a energia, materiais e emissões de resíduos de uma grande variedade de processos industriais e comerciais (Pré Consultants, 2016).

Segundo o Goedkoop et al. (2016), o software dispõe de uma larga variedade de bancos de dados e, por este motivo, a inserção de informações coletadas é dispensável na maioria dos casos. Caso a introdução de dados específicos seja necessária, é indicado que seja feita uma investigação até que ponto os dados encontrados nos bancos de dados se ajustam aos introduzidos, afim de que não haja sobreposição, por exemplo. A elaboração desses bancos de dados do SIMAPRO é resultado de um esforço conjunto de diferentes instituições suíças para atualizar e integrar vários bancos de dados de inventário do ciclo de vida, passando tudo por rigoroso processo de validação.

Entre os bancos de dados de ACV específicos para uma região, nação, indústria, agricultura ou para um consultor, os mais utilizados são Ecoinvent, NEEDS, ELCD, etc (KHANDELWAL et al., 2018).

Além disso, para a realização de um estudo de ACV no SimaPro, uma importante etapa é a seleção das categorias apropriadas e, conseqüentemente, do método adequado para cada estudo. Segundo Goedkoop et al. (2016), é fundamental que questões que tenham alguma importância não sejam deixadas de fora, como uso do solo, partículas finas e ruído, sendo este um critério de eliminação de métodos que não se encaixem na avaliação de impacto desejada. Além disso, a análise de bibliografias já existentes em área correlata é essencial nesse processo de seleção.

Na literatura, diversos estudos utilizam o software SIMAPRO para avaliação dos impactos ambientais em diferentes temáticas.

Pacheco et al. (2018) fez uso do SimaPro versão PhD 8.0.3.14 para avaliar os potenciais impactos da produção de ração para frango de corte para diversos cenários de formulação em um estudo de caso realizado em uma cooperativa de avicultores de Teresina-PI. Para este estudo, os autores fizeram uso de dados obtidos através de visitas e de dados obtidos diretamente nas bibliotecas Swiss Center of Life Cycle Inventories (Ecoinvent 3) e U.S. Life Cycle Inventory Database (USLCI), disponíveis no banco de dados do software SimaPro. O método utilizado foi o ReCiPe Midpoint (H) v1.10 / World Recipe H.

Nóbrega et al. (2019) utilizaram o SIMAPRO, versão 8.0 para aplicação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) na coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa do município de João Pessoa (PB). Além disso, o estudo fez uso da base de dados Ecoinvent 3.2 (porém, em casos de não haver processos brasileiros disponíveis na biblioteca, optou-se pela adaptação com o uso de dados coletados em visitas feitas, através da inserção de dados no programa em questão) e do método de avaliação de impacto ambiental CML-IA baseline, versão 3.00/World 2000.

Delgado et al (2018) utilizaram o software SIMAPRO 8.4.0.0 para avaliar ambientalmente os tipos de biomassa que podem ser empregados em caldeiras afim de otimizar os recursos energéticos utilizada por um hospital. A biblioteca utilizada foi a Ecoinvent e o método adotado foi o IPCC 2013 GWP 100a. Já Melquíades et al. (2019) realizaram um estudo de ACV fazendo uso do SIMAPRO 8.0.3.14, base de dados Ecoinvent e método IPCC 2013 GWP 100^a para quantificar a pegada de carbono no processo de pasteurização em uma fábrica de sorvetes e outros gelados em João Pessoa (Paraíba), comparando dois diferentes cenários.

Ferreira et al. (2014) utilizaram o programa computacional SIMAPRO, versão 7.3.3, para avaliar os impactos ambientais oriundos das operações de gerenciamento de resíduos de embalagens em Portugal, contemplando etapas como coleta, reciclagem, incineração, aterro sanitário, entre outras. Para os autores supracitados, embora existam outros softwares aptos para tratar da temática de ACV no gerenciamento de resíduos, o SIMAPRO continua a ser uma ferramenta apropriada para ser amplamente utilizada por acadêmicos e profissionais.

3.3 Custo do Ciclo de Vida (CCV)

O conceito de Custo do Ciclo de Vida foi abordado em 1933, quando nos EUA, os custos de manutenção e operação foram incluídos na General Accounting Office (GAO) para a compra de tratores. O raciocínio utilizado era que a compra não deve ser baseada somente no custo de aquisição pessoal, mas também nas questões supracitadas e, em menor grau, para disposição final dos mesmos (CIROTH et al., 2008).

Segundo a ISO 15686-5:2017, a CCV é definida como “o custo de um ativo ou de suas partes ao longo do seu ciclo de vida, considerando seus requisitos e desempenho para os quais foi projetado”.

Segundo Kloepffer (2008), a análise das fases do ciclo de vida deve ser considerada durante a agregação de valores ao produto final a ser comercializado afim de valorizar as oportunidades para a redução de custos existentes, sobretudo, para os produtos “verdes” (incluindo os serviços) que muitas vezes são mais caros do que os produtos convencionais. De maneira geral, defende-se que as informações do Custo de Ciclo de Vida (incluindo a fase de utilização) pode levar o consumidor a uma decisão mais consciente, ou seja, a consideração das necessidades das futuras gerações. Além disso, para Kloepffer (2008), a análise dos custos nas fases do ciclo de vida de um determinado produto não deve ser desconsiderada durante a agregação de valores ao produto final a ser comercializado.

Segundo o UNEP/SETAC (2009) quando se avalia um produto ou serviço, dentro do contexto do desenvolvimento sustentável, há a ocorrência de externalidades que se referem à necessidade de impor custos ou benefícios sobre os outros fatores, que não são refletidos nos preços cobrados pelos produtos e serviços prestados na cadeia de valor.

Sendo assim, a CCV objetiva oferecer ao profissional, empresário e homem público uma ferramenta gerencial para seleção de materiais ou produtos, através da contabilização dos custos totais do sistema em análise, desde a sua concepção até o fim de sua vida útil, ou seja, ao longo do seu ciclo de vida (MATERN, 2002).

A literatura internacional e nacional contempla estudos referentes a temática de custo de ciclo de vida.

Dwaikat e Ali (2018) aplicaram a metodologia de custo do ciclo de vida em um edifício afim de levantar o orçamento do mesmo desde sua construção até sua possível desconstrução ou demolição, considerando um período de 60 anos. Como resultado, os autores verificaram que o custo futuro do edifício é cerca de 3,6 vezes maior que o custo inicial de projeto e construção, sendo as etapas de manutenção (27%) e energia (48%) as que requerem maiores custos. Embora tenham realizado o referido estudo, os autores elencam que a metodologia e aplicação do custo do ciclo de vida ainda possui uma compreensão imperfeita, o que pode ser considerado uma barreira para estudos nesta temática.

Resende et al. (2019) realizaram uma avaliação ambiental e econômica do ciclo de vida de dois sistemas de tratamento de águas residuais, em pequena escala, afim de averiguar a eco eficiência ao longo de uma vida útil de 20 anos. Na análise ambiental resultou que o sistema aerado é o principal causador de impactos ambientais. Já, a análise econômica averiguou que os custos com sistema aerado são 1,8 vezes menores do que o sistema sem aeração quando considera-se a eficiência dos mesmos ao longo do período de 20 anos

considerado. Sendo assim, o sistema aerado foi considerado o mais rentável, sobretudo para tratamento de águas residuais em pequena escala acoplada a áreas úmidas construídas.

Brioschi et al. (2019) realizaram uma análise de custo e viabilidade econômica do café em um município brasileiro através da avaliação dos custos de produção e rentabilidade do mesmo. O trabalho relatou os maiores gastos oriundos de mão-de-obra e compra de agrotóxicos. Como resultado, obteve-se que a rentabilidade da cafeicultura na região é satisfatória, porém é necessário que seja feita uma análise de outras atividades agrícolas antes de adota-la.

He et al. (2019) analisaram o custo do ciclo de vida do processo de reciclagem de minerais de alta tecnologia presentes em telefones celulares usados na China. Como resultado, obteve-se que o custo do ciclo de vida de um telefone varia de aproximadamente US \$ 2,34 a US \$ 6,60, ou seja, trata-se de um processo rentável. Sendo assim, sugere-se a aplicação de políticas para o gerenciamento de telefones no país, tais como a adoção de maior atenção referente ao CCV dos telefones celulares desperdiçados e nos minerais que possuem, um melhor gerenciamento de resíduos de telefonia móvel afim de aumentar a taxa de coleta destes materiais e a reciclagem de minerais presentes, o investimento em tecnologia avançada na área, sobretudo no processo de desmontagem e a conscientização da população.

De acordo com Petit-boix et al. (2017), as principais questões tratadas em trabalhos científicos referentes a custo de ciclo de vida são mobilidade, espaços verdes, comida, energia, construções e resíduos.

3.3.1 Custo de Ciclo de Vida Aplicado aos Resíduos Sólidos

O conceito de Custo de Ciclo de Vida (CCV) é, geralmente, limitado à aplicação em setores de produção específicos. Segundo Citroth et al. (2008), este fato deve-se à evidência de que o método em questão, para se adequar para uma determinada realidade e apresentar resultados satisfatórios, precisa corresponder aos valores de custo usados por uma empresa, ou seja, a necessidade de especificidade e detalhamento inviabiliza a aplicação da mesma em grande escala, fato que torna a ferramenta ainda pouco utilizada. Sendo assim, qualquer escopo mais amplo e genérico não seria suficiente para obtenção de resultados adequados.

Apesar da CCV ser um método inovador e de existir poucos estudos de caso desta metodologia na área de resíduos sólidos, constatou-se alguns trabalhos neste campo.

Amini et al. (2017), em estudo sobre um tratamento alternativo e de baixo custo de resíduos de suínos, fez uso da ferramenta Custo do Ciclo de Vida para avaliar a relação

custo-eficácia de várias alternativas de processo. O trabalho avaliou os benefícios sinérgicos do uso dos processos de AD- estruvite-IX e AD-STRIEX para recuperação de energia e nutrientes de resíduos produzidos por animais do tipo suínos.

Menikpura et al. (2016) avaliaram quantitativamente os impactos ambientais e econômicos decorrentes de duas tecnologias: o uso de gás para produção de energia e a incineração nas cidades tailandesas, sendo os impactos ambientais dados a partir dos indicadores de emissões líquidas de gases de efeito estufa e do consumo líquidos de recursos fósseis e os impactos econômicos através da ferramenta CCV. Em estudo semelhante, Paes et al. (2020) realizaram a aplicação de ACV e CCV no gerenciamento de resíduos do município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. Como resultado da análise econômica, os autores obtiveram dois cenários que combinaram as maiores metas: reciclagem com maior eficiência de transporte e compostagem.

Colvero et al. (2020) realizaram uma análise dos custos de investimento, operação e receita de uma instalação compartilhada de gerenciamento de resíduos sólidos entre 19 municípios localizados na região metropolitana de Goiânia, Goiás, Brasil. Para realização do estudo, os autores consideraram dois cenários opostos: otimista e pessimista, em que em ambos obteve-se que as etapas de maiores custos são coleta e transporte de resíduos, sendo estas responsáveis por 60% dos custos operacionais. Como medidas para reduzir custos, recomenda-se o estudo e diminuição das rotas percorridas, através de instalações em pontos estratégicos e centrais para todos os municípios contemplados pelo serviço e a busca por parcerias com indústrias recicladoras.

Pires et al. (2017) realizaram uma análise econômica comparativa entre a coleta mista de recicláveis empregada na área de estudo (Portugal) e um sistema exclusivo simulado. Como resultado, tem-se que a adoção de um sistema exclusivo é mais vantajoso do que a manutenção do sistema misto, tendo-se em vista os custos decorrentes de ambos os sistemas considerados, sobretudo oriundo do transporte e dos recipientes das calçadas.

Em avaliação da coleta seletiva de resíduos recicláveis em uma região de baixo desempenho nesta temática, em Portugal, verificou-se a existência de fatores explicativos para este cenário, estando estes divididos em dois grupos: socioeconômico / demográfico e serviço de coleta de resíduos. Além disso, o presente trabalho elencou indicadores que melhorariam a atuação da coleta de recicláveis vista na atualidade e oferece ferramentas para definição de estratégias futuras para melhor desempenho da atividade de coleta (OLIVEIRA et al., 2017).

Aplicado à gestão de resíduos sólidos, o uso da ferramenta CCV foi utilizado por Sousa et al. (2018). Os autores destacaram o potencial desta metodologia para fornecer uma linha de base para otimização espacial do serviço de coleta de resíduos no município de Cascais- Portugal.

Em análise dos custos de coleta de diferentes tipos de resíduos em municípios da Itália, Greco et al. (2015) constataram que fatores como tamanho, densidade populacional, entrega privada, descarte e porcentagem de coleta segregada e domiciliar variam significativamente dentre os materiais analisados.

No contexto da distância percorrida pela coleta de materiais recicláveis, por exemplo, Hou et al. (2018) averiguaram que a mesma é maior do que para a mescla de resíduos destinada ao aterro sanitário devido à quantidade de recicláveis recolhida ser menor para uma determinada rota. Entretanto, os autores ressaltam que embora existam barreiras técnicas para a reciclagem destes materiais, é vantajoso ambientalmente reciclar o resíduo ao invés de enviá-lo para o aterramento ou incineração e que para corrigir este cenário, torna-se necessário um maior investimento em equipamentos e, principalmente, conscientização e cooperação de várias partes interessadas.

Sabendo-se que a gestão de resíduos sólidos é composta por sucessivas etapas desde sua geração até sua destinação final, devendo cada uma delas ser detalhadamente entendida e otimizada, o estudo do Custo do Ciclo de Vida nesta temática surge como uma maneira eficaz de otimização de todo um sistema.

3.3.2 Análise Benefício/Custo

Utilizada como instrumento de análise econômica, a Análise Benefício/Custo (ABC) é frequentemente empregada para avaliar a viabilidade de um determinado projeto ou empreendimento, através da comparação entre seus custos e benefícios efetivos (MEIKANDAAN E HEMAPRIYA, 2018). Ou seja, trata-se da razão entre os benefícios e os custos envolvidos em um determinado empreendimento, sendo este um método de avaliação simples e muito utilizado no cotidiano para a tomada de decisões.

Para Nóbrega (2003), no contexto da análise econômica, e sobretudo, do setor público, esta relação possui uma grande relevância.

A equação 1 mostra a relação:

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{k=0}^n B_k (1+j)^{-k}}{\sum_{k=0}^n C_k (1+j)^{-k}} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

B = benefícios

C = custo

K = tempo

Sendo assim, se $B/C = 1$, pode-se afirmar que os benefícios B são equivalentes aos custos C; se $B/C > 1$, os benefícios foram superiores aos custos analisados, sendo esta a melhor situação sob o ponto de vista econômico. Se $B/C < 1$, indica-se que os custos foram superiores aos benefícios encontrados, sendo este o pior cenário.

Para Daniels et al. (2019), quando a razão entre os benefícios e os custos existentes é igual ou superior a 1 indica que a medida é custo-efetiva.

Na literatura, diversos estudos aplicaram a relação ABC para análise econômica em diferentes temáticas.

Rognoni et al. (2020) utilizaram a relação ABC para comparar os benefícios monetários líquidos entre a cirurgia bariátrica e a realização de dieta (incluindo exercício físico) para pacientes obesos de três diferentes grupos. Como resultado, o estudo concluiu que a cirurgia bariátrica, comparada à dieta, pode trazer benefícios significativos e um retorno monetário curto para pacientes italianos ou em uma perspectiva social ainda mais ampla.

Rozanski et al. (2019) aplicaram a análise benefício/custo (ABC) para avaliar a viabilidade econômica da inclusão de ureia na ração fornecida para cordeiros. O estudo concluiu que rações contendo 1,0% de ureia obtiveram a maior ABC de 2,09. A pior relação obtida foi em ração sem ureia ($ABC = 1,74$).

Yellman et al. (2017) analisaram a instalação de alarmes de fumaça em casas de alto risco de incêndio em uma comunidade em Dallas, Texas, através do uso da relação ABC. Os autores concluíram que os benefícios oriundos da instalação destes equipamentos sobrepõem seus custos, sobretudo em bairros de alto risco de incêndio.

Braga et al. (2019) analisaram o reuso de sedimentos como fertilizante para a agricultura em uma bacia semiárida no Brasil, sendo uma das questões consideradas a viabilidade econômica deste cenário. Para isto, os autores compararam os custos da prática

proposta e os custos existentes caso a área fosse fertilizada por meios tradicionais, obtendo resultados viáveis economicamente para o cenário proposto.

Gigli et al. (2019) analisaram a viabilidade ambiental e econômica da reciclagem da fibra ELT proveniente de pneus de veículos europeus. Do ponto de vista econômico, aplicou-se a relação ABC e obteve-se resultados superiores a 1, ou seja, o processo foi considerado viável economicamente, sendo seus benefícios mais representativos que seus custos.

Gomes e Nóbrega (2005) aplicaram a relação ABC para verificar a viabilidade econômica de um projeto piloto de coleta seletiva no município de João Pessoa-Paraíba, entre os anos de 2000 e 2003. Como resultados, os autores obtiveram que as relações ABC variaram de 1,27 a 1,77 ao longo do período estudado, ou seja, os resultados indicaram a viabilidade econômica do projeto.

CAPÍTULO IV

4. METODOLOGIA

O presente estudo analisará os dados do município de João Pessoa-PB, Brasil, no período de 2015 a 2018.

Para obtenção dos resultados esperados busca-se o cumprimento de etapas, sendo estas: a realização de um levantamento dos dados bibliográficos relacionados à gestão de resíduos sólidos, a análise da área de estudo em questão e a atuação da coleta seletiva, a avaliação dos impactos ambientais existentes ao longo do seu ciclo de vida e o estudo do custo de ciclo de vida, através da Análise Benefício/Custo (ABC) do sistema de coleta seletiva na área de estudo. As etapas adotadas para o cumprimento do procedimento metodológico utilizados podem ser visualizadas no fluxograma (Figura 4).

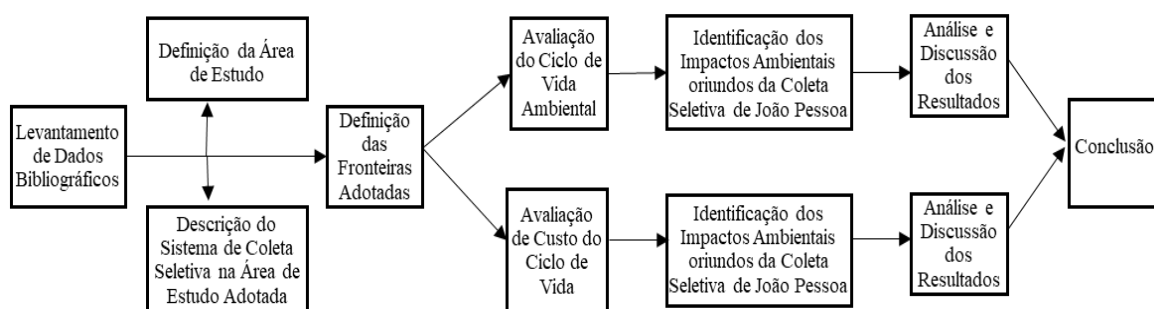


Figura 4: Fluxograma das etapas a serem cumpridas no presente estudo. (Fonte: Autora, 2020).

A descrição de cada uma das etapas encontra-se descrita a seguir.

4.1 Levantamento dos Dados Bibliográficos

Para esta etapa foram realizadas pesquisas a acervos bibliográficos publicados em periódicos e anais de congressos, teses, dissertações, livros e dados disponíveis em endereços eletrônicos referentes ao tema da gestão de resíduos sólidos, sobretudo da parcela reciclável destes. Além disso, realizaram-se visitas e coleta de dados junto a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), aos núcleos de coleta seletiva e a Central de Triagem (CT).

4.2 Descrição do Sistema de Coleta Seletiva na área de estudo adotada

A unidade empírica de referência do presente estudo é o município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, nordeste do Brasil, estando o mesmo localizado com longitude oeste de 34°47'30'' e latitude sul de 7°09'28''. A área de estudo adotada possui uma população estimada de 809.015 habitantes e ocupa uma área de 211.475 Km², dividindo-se em 63 bairros (IBGE, 2019).

Na Figura 5 mostra a localização do município de João Pessoa.

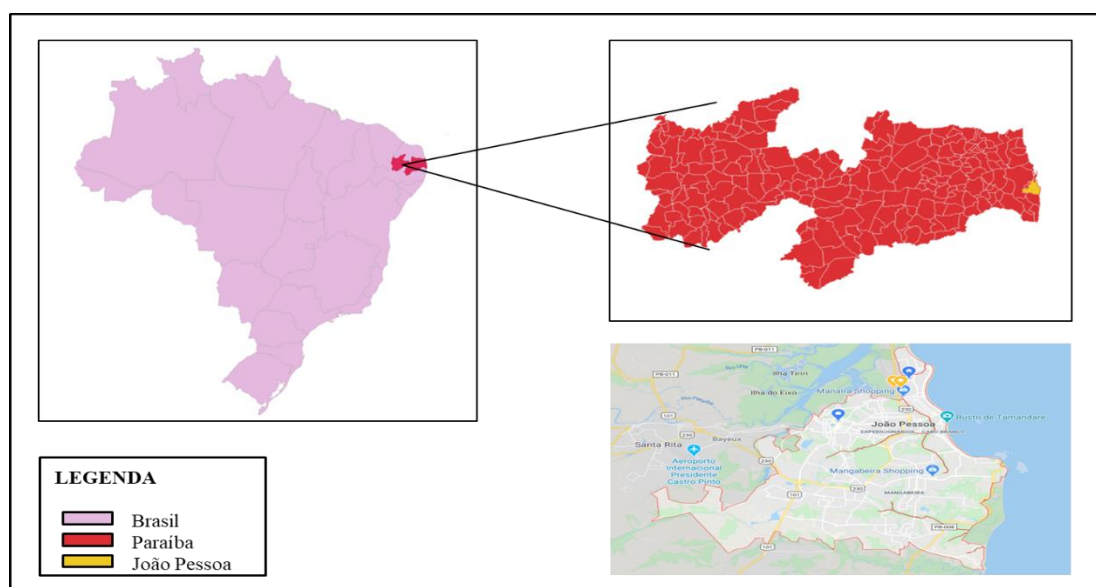


Figura 5: Localização do município de João Pessoa. (Fonte: Autora, 2020)

No município de João Pessoa, segundo seu Plano Municipal de Gestão Integrado de Resíduos Sólidos (PMGIRS-JP, 2014), a geração per capita de resíduos sólidos é de 0,94 kg/hab.dia. Segundo o Sistema Nacional de Informações de Saneamento- SNIS (2018), no período compreendido entre 2015 e 2018, esse valor foi respectivamente 1,01 kg/hab./dia 1,00 kg/hab./dia, 0,99 kg/hab./dia e 1,03 kg/hab./dia. Sendo assim, a geração de resíduos no município de João Pessoa se assemelha ao de cidades com populações significativamente maiores, como Goiânia (COLVEIRO et al., 2017).

Sobre a sua composição gravimétrica, a Figura 6 mostra a caracterização dos RSU de João Pessoa realizada por Pimentel (2017), onde evidencia-se que a maior parte dos resíduos produzidos na capital paraibana são orgânicos (33%), verdes (16%) e plástico (10%).

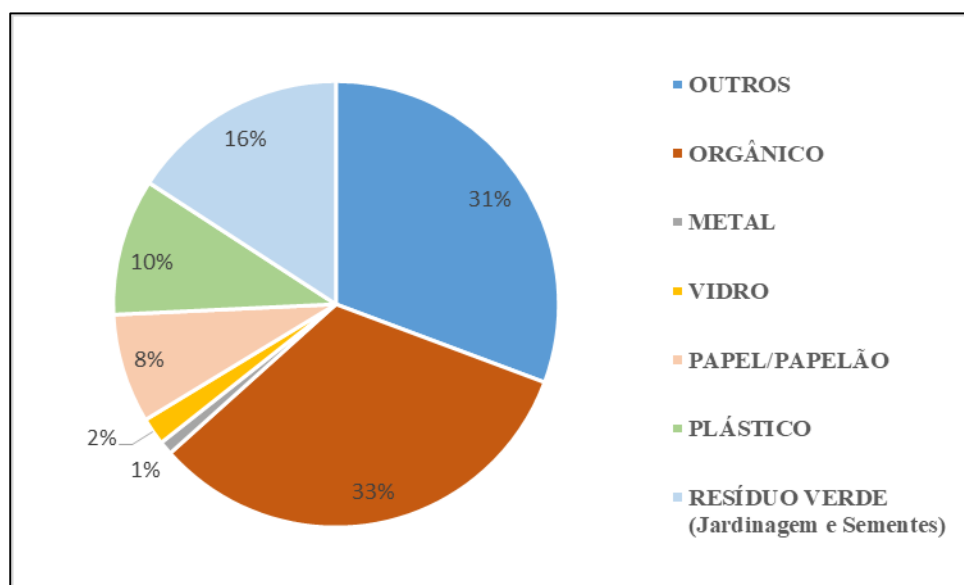


Figura 6: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de João Pessoa (Fonte: Adaptado Pimentel, 2017).

De maneira geral, o roteiro realizado pela coleta de resíduos sólidos na capital paraibana (Figura 7) pode ser descrito como:

- 1) Descarte dos resíduos sólidos pelos habitantes do município de João Pessoa.
- 2) Recolhimento dos resíduos descartados pela coleta seletiva ou pela coleta regular. No primeiro caso, os resíduos já segregados na fonte são destinados aos núcleos de coleta seletiva da capital paraibana. No segundo caso, a massa de resíduos sólidos é destinada diretamente ao aterro sanitário (podendo passar pela Central de Triagem ou não).
- 3) Os resíduos que se encontram nos núcleos de triagem e são passíveis de reciclagem são separados por material e formam-se fardos para posterior venda.
- 4) Após serem segregados, os materiais são destinados para a comercialização, sendo primeiramente entregue a agentes intermediários (atravessadores) e, posteriormente, revendidos por estes para as indústrias recicladoras.
- 5) As indústrias recicladoras reiniciam o ciclo.

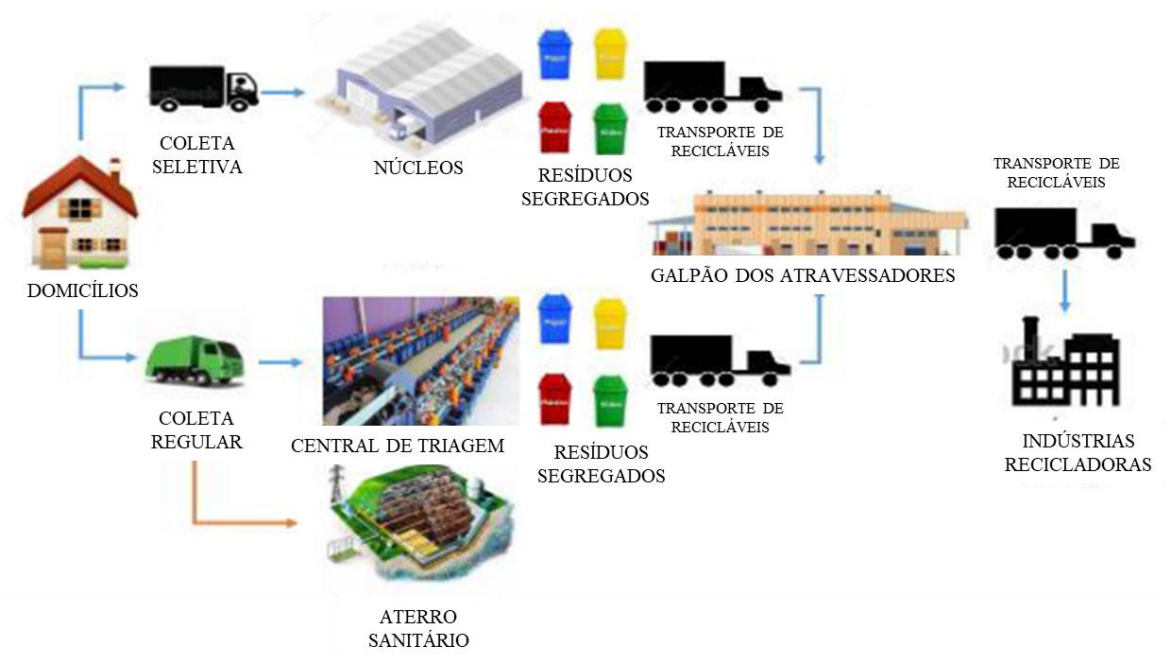


Figura 7: Roteiro de Coleta de Resíduos Sólidos no Município de João Pessoa. (Fonte: Adaptado de Garcia, 2016).

Desta maneira, o fluxo percorrido pelos resíduos recicláveis da capital paraibana não ocorre de maneira ordenada passando antes por inúmeros agentes intermediários (atravessadores), agregando assim valor ao material e, conseqüentemente, desfavorecendo o serviço desempenhado pelo catador associado nos núcleos de triagem do município.

As associações de recicláveis da capital estão distribuídas em sete Núcleos de Coleta Seletiva (Bessa, Mangabeira, Jardim Cidade Universitária, Roger, Bairro dos Estados, Cabo Branco e uma Central de Triagem - CT, localizada próximo ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP), que somam o total de 169 associados responsáveis por atender 18 bairros da capital paraibana com seu serviço (PMGIRS-JP, 2014). Dessa forma, a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana - EMLUR é responsável pela gestão de resíduos sólidos da capital paraibana e apoia as associações de catadores que trabalham nos referidos núcleos.

A fim de avaliar o modelo de gestão de resíduos praticado no município de João Pessoa, o presente trabalho utilizou os cálculos do Grau de Recuperação de Recicláveis (GRR) e o Índice de Resíduos (IR).

O GRR é representado em porcentagem e indica a relação entre a produção de material reciclável atendido pela coleta seletiva e a produção total de resíduos potencialmente recicláveis atendido pela coleta regular (Equação 2). Para obtenção do

potencial reciclável adotou-se que o resíduo domiciliar de João Pessoa contém 21% de sua composição de origem reciclável (Pimentel, 2017).

$$GRR (\%) = \frac{\text{Produção de reciclável (t)}}{\text{Potencial reciclável (t)}} \quad (\text{Equação 2})$$

Por sua vez, o Índice de Resíduos é representado em porcentagem e indica a quantidade de resíduos sólidos recicláveis que são incorretamente destinados a aterros sanitários, ou seja, não são atendidos pela coleta seletiva. O Índice de Resíduos é dado pela Equação 3.

$$IR (\%) = \frac{\text{Potencial de reciclável} - \text{Produção de reciclável (t)}}{\text{Produção da cidade (t)}} \quad (\text{Equação 3})$$

No presente estudo, considerou-se que João Pessoa dispõe atualmente de uma linha base composta por domicílios, núcleos ou central de triagem, atravessadores e empresas recicladoras (Figura 8). Ou seja, os domicílios como fronteira inicial e as empresas recicladoras como fronteira final.

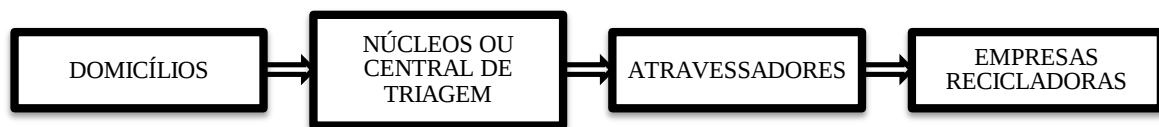


Figura 8: Linha base do Sistema de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB. (Fonte: Autora, 2020)

4.2.1 Domicílios

Para realização deste estudo, adotou-se como domicílios aqueles localizados nos bairros contemplados pelo serviço de coleta seletiva de João Pessoa, ou seja, pelos núcleos correspondentes existentes na área de estudo adotada (Quadro 1). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os bairros beneficiados por este serviço totalizam 80.722 domicílios na capital paraibana (IBGE, 2010).

Quadro 1: Bairros beneficiados pelo serviço dos de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB.
(Fonte: Autora, 2020).

Núcleo	Bairros Beneficiados
Bessa	Bessa, Aeroclube, Jardim Oceania e parte de Manaíra
Cabo Branco	Cabo Branco, Tambaú, Altiplano, Miramar e parte de Manaíra
Mangabeira	Parte de Mangabeira
Cidade Universitária	Bancários, Anatolia, Jardim Cidade Universitária e parte de Mangabeira
Bairro dos Estados	Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Bairro dos Ipês, Mandacaru, 13 de Maio

A Figura 9 representa área do município de João Pessoa contemplada pelo serviço de coleta seletiva desempenhado pelos núcleos. Diferente do que ocorre nos demais núcleos, a Central de Triagem atende a coleta regular de resíduos referente ao município de João Pessoa, ou seja, a parcela reciclável e não reciclável do mesmo. Sendo assim, por atender toda a capital paraibana, a Central de Triagem não foi citado no Quadro 1 e na Figura 9.

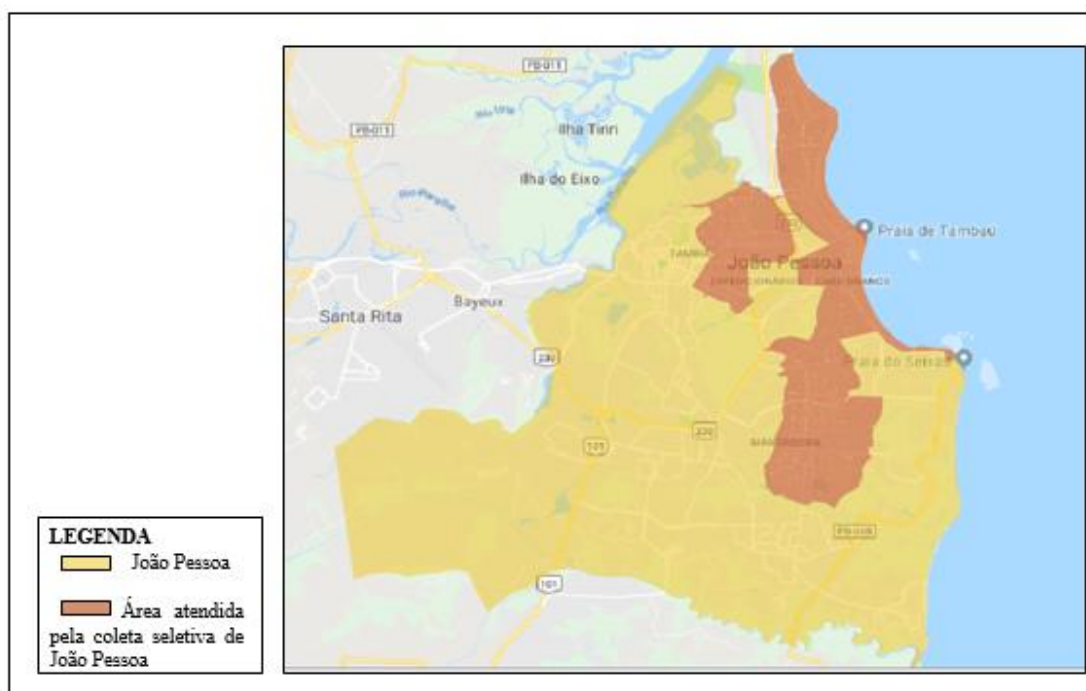


Figura 9: Área atendida pelo serviço de coleta seletiva em João Pessoa. (Fonte: Autora, 2020)

4.2.2 Núcleos e Central de Triagem

O município de João Pessoa possui sete núcleos de coleta seletiva, sendo um deles denominado Central de Triagem, localizado próximo ao Aterro Metropolitano de João Pessoa - ASMJP (PMGIRS-JP, 2014).

Entretanto, entre os núcleos considerados está o do Roger que funciona como galpão de armazenamento de resíduos recicláveis e não como núcleo de coleta efetivamente. Por este motivo, tal galpão foi desconsiderado para este estudo.

O Quadro 2 mostra a localização dos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa, com exceção do núcleo do Roger.

Quadro 2: Localização dos Núcleos de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB. (Fonte: Autora, 2020).

Núcleo	Endereço
Bessa	Rua Projetada S/N, próximo à Rua Nicolau de Melo, Bessa
Cabo Branco	Rua Paulino Pinto, S/N, Cabo Branco
Mangabeira	Rua Adjair Egito da Nóbrega, S/N, Mangabeira VIII (Cidade Verde)
Cidade Universitária	Rua Manoel Roberto do Nascimento, S/N, Jardim Cidade Universitária
Bairro dos Estados	Avenida Espírito Santo, S/N, Bairro dos Estados
Central de Triagem	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

Os núcleos de coleta seletiva de João Pessoa possuem subsídio do poder público, como espaço físico, eletricidade, máquinas, água, alimentação, caminhões, etc, sendo estes transportes utilizados para o transporte dos materiais recicláveis pelos associados dos referidos núcleos (PMGIRS-JP, 2014).

A CT está situada, como já citado, próxima ao ASMJP e recebe os resíduos domiciliares oriundo da coleta regular da capital paraibana, ou seja, não anteriormente segregada. Devido à grande quantidade de resíduos que chegam no local diariamente não é possível que todo caminhão que chegue ao Aterro passe pela CT (local de segregação de resíduos recicláveis). De maneira geral, os associados utilizam como principal critério o bairro de onde o resíduo foi trazido, já que este fato já se mostrou determinante para a quantidade e qualidade de recicláveis presentes, preferenciando assim caminhões provenientes de rotas de coleta de maior poder aquisitivo.

O presente estudo considerou como materiais recicláveis o papel, o plástico, o metal e o vidro, pois averiguou-se que estes totalizam a maior parte dos resíduos presentes nos núcleos de coleta seletiva e na central de triagem do município de João Pessoa. Além disso, estes materiais são amplamente citados em estudos dessa natureza, permitindo futuras comparações.

4.2.3 Atravessadores

Este trabalho considerou como atravessadores os agentes intermediários que levam os resíduos recicláveis segregados dos núcleos até as empresas recicladoras. Para isso, visitou-se os núcleos de coleta seletiva da capital paraibana por um período de cinco (05) meses (dezembro de 2018 a abril de 2019) afim de identificar os principais atravessadores para cada tipo de material (papel, plástico, vidro e metal). Após serem realizadas sucessivas visitas, verificou-se a complexidade do panorama de atravessadores existentes no município de João Pessoa, já que novos nomes surgem constantemente e da averiguação de famílias inseridas nesta etapa do sistema. Sendo assim, estabeleceu-se como limite para este item o uso de apenas um atravessador por material na área de estudo em questão (Quadro 3).

Quadro 3: Atravessadores por material selecionados para o presente estudo. (Fonte: Autora, 2020).

Atravessador	Material
Atravessador 1	Papel
Atravessador 2	Plástico
Atravessador 3	Vidro
Atravessador 4	Metal

Para a definição dos atravessadores adotados no presente estudo, verificou-se os compradores que mais adquiriram os materiais selecionados no período analisado. Em seguida, foram realizadas visitas aos seus referidos galpões e, quando possível, interrogou-se aos mesmos afim de certificar as informações fornecidas nos núcleos e central de triagem e as empresas recicladoras para as quais são encaminhados os fardos adquiridos.

Além disso, verificou-se que, em média, os atravessadores compram os resíduos dos núcleos duas vezes ao mês e vendem para as empresas uma única vez, possibilitando assim o acúmulo de maior quantidade de material.

Sabendo-se da dificuldade de entender completamente esse panorama, que na maioria das vezes se estende para longe do local onde o resíduo foi produzido, estabeleceu-se como limite para este item o uso de apenas um atravessador por material na área de estudo em questão.

Assim, foi considerado que todos os núcleos vendem seus recicláveis segregados para os quatro (04) atravessadores supracitados e que estes, por sua vez, vendem os mesmos para as empresas recicladoras consideradas no item seguinte 4.2.4.

4.2.4 Empresas Recicladoras

Para o desenvolvimento desta pesquisa, as empresas recicladoras foram consideradas como a fronteira final da linha de base da coleta seletiva, sendo estas a etapa seguinte aos atravessadores.

De maneira geral, as empresas recicladoras compram o material já segregado e, previamente preparado para ser usado como matéria prima no seu processo produtivo. Para este item, o presente estudo limitou o número de empresas a apenas quatro (04), sendo cada uma delas compradora de um tipo de material (Quadro 4).

Quadro 4: Empresas por material selecionados para o presente estudo e suas localizações.

(Fonte: Autora, 2020).

Empresa	Material
Empresa 1	Papel
Empresa 2	Plástico
Empresa 3	Vidro
Empresa 4	Metal

Sendo assim, considerou-se que todos os atravessadores citados no item 4.2.3 vendem seus recicláveis segregados para as 04 empresas, encerrando assim a linha de base da coleta seletiva no município de João Pessoa-PB.

Então, considerando os itens 4.2.1 a 4.2.4, a linha de base proposta na Figura 8 pode ser adaptada aos limites adotados para atravessadores e empresas (Figura 10).

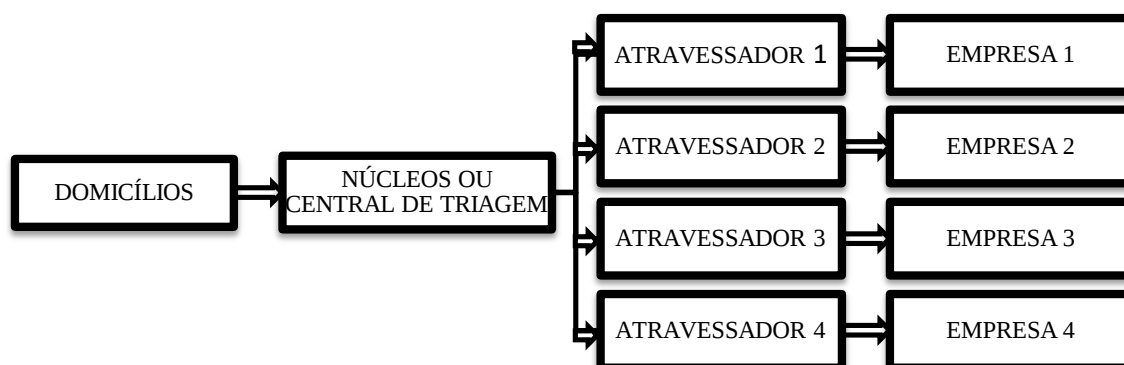


Figura 10: Linha base do Sistema de Coleta Seletiva de João Pessoa-PB adaptado para este estudo. (Fonte: Autora, 2020).

4.3 Análise ambiental da coleta seletiva de João Pessoa

Para realização da análise ambiental no presente estudo, adotou-se a metodologia de Análise do Ciclo de Vida (ACV) para o sistema de coleta seletiva de João Pessoa, onde considerou-se quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário de ciclo de vida, avaliação de impacto e interpretação, estando estas relacionadas entre si.

4.3.1 Definição de Objetivo e Escopo

De acordo com Goedkoop et al. (2016), a definição de objetivo e escopo ajuda a garantir que você executou sua ACV de forma consistente.

O objetivo da ACV deve estabelecer a finalidade do estudo e sua amplitude, o qual deve elencar a aplicação pretendida (ABNT, 2014). A análise ambiental do presente estudo objetiva analisar os impactos ambientais oriundos do ciclo de vida do sistema de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares no Município de João Pessoa/PB entre os anos de 2015 e 2018.

O escopo deve conter o sistema de produto a ser estudado, suas fronteiras e a unidade funcional adotada (COLTRO, 2007; ZHOU et al. 2011; PIERAGOSTINI et al. 2012). Para desempenho deste trabalho, adotou-se o Sistema de Coleta Seletiva de João Pessoa descrito no item 4.2, estabelecendo-se como fronteira inicial a saída dos domicílios e como fronteira final as indústrias (Figura 11). Conforme sugerido por Nóbrega et al. (2019), quando as fronteiras estão geograficamente especificadas e os processos fora delas não estão incluídos,

o estudo é considerado como “portão-ao-portão”. Assim, o presente estudo é do tipo “portão-ao-portão.”

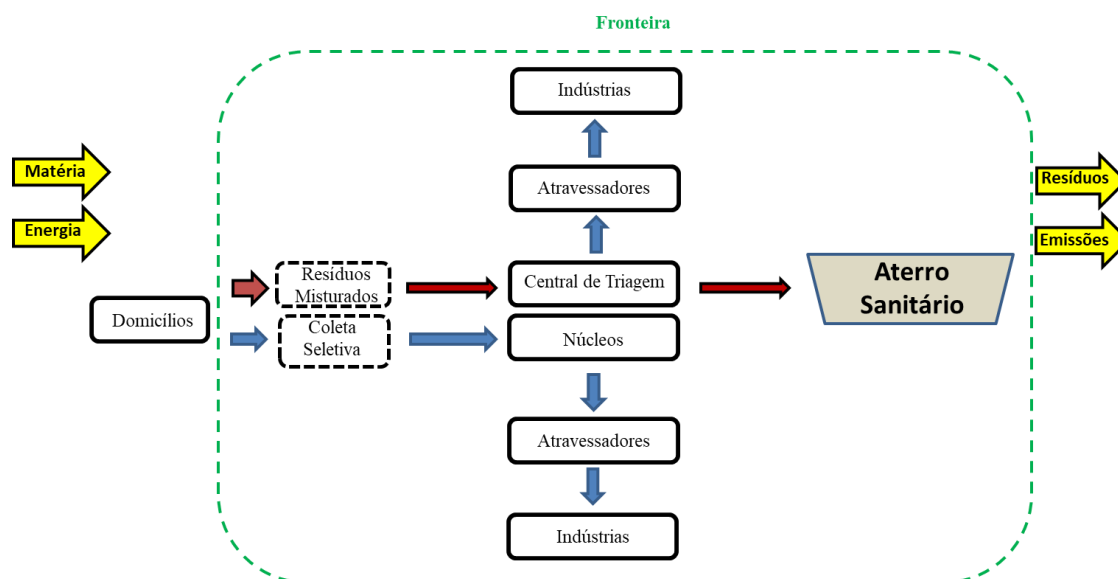


Figura 11: Sistema de Coleta Seletiva realizado para os Resíduos Sólidos Domiciliares da área de estudo e a fronteira utilizada referente aos fluxos específicos dos resíduos sólidos recicláveis gerados até a disposição final. (Fonte: Autora, 2020).

Segundo a ISO 14040 (2014), a unidade funcional (UF) fornece uma base comum para a comparação de resultados. No presente estudo a UF considerada foi de 1 tonelada de resíduos sólidos coletados por ano. Segundo Khandelwal et al. (2018) esta é a unidade funcional mais utilizada em estudos referentes a ACV da gestão de resíduos sólidos, representando mais da metade dos estudos realizados entre os anos de 2013 e 2017 no mundo.

4.3.2 Análise de Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

O ICV contém dados sobre as entradas e saídas adotadas em cada processo do sistema.

No presente estudo, considerou-se como dados de entrada o quantitativo de resíduos vendidos pelos núcleos e CT nos anos de 2015 a 2018, as distâncias percorridas (coleta regular, coleta seletiva, dos núcleos aos atravessadores, dos atravessadores as indústrias recicladoras e dentro do próprio Aterro), o funcionamento do aterro e os dados referentes ao

consumo de eletricidade, água e arame nas diversas etapas analisadas no processo de coleta seletiva e reciclagem nos mesmos anos.

Como dados de saída, foram obtidos os impactos gerados por emissões atmosféricas no sistema.

Após a definição dos dados de entrada e saída, escolheu-se o software a ser utilizado para introdução dos mesmos e posterior análise dos resultados, as bases de dados e o método mais adequado para o estudo em questão.

Deste modo, a análise ambiental da coleta seletiva de João Pessoa fez uso do software SIMAPRO 9.0.0.49 (2019) que foi desenvolvido pela empresa PRé Consultants e é amplamente utilizado para estudos com esta finalidade (Nóbrega et al., 2019; Ferreira et al., 2014; Martins, 2017). Em relação ao seu funcionamento, o mesmo consiste na análise do desempenho ambiental de produtos e serviços, através do cumprimento das recomendações da série ISO 14044 (2009). O uso do software em estudos bibliográficos e informações referentes ao seu uso encontram-se descritas no item 3.2.2.

A base de dados utilizada no presente estudo foi a Ecoinvent 3.5 (2018), sendo esta detentora de dados representativos para o Brasil e por isso amplamente utilizada em estudos deste tipo no país. Segundo o Goedkoop et al.(2016), o Ecoinvent é uma base de dados rica e em sua versão 3.5 contempla um escopo mais internacional, facilitando assim a utilização ou adaptação de processos brasileiros, e com processos unitários, ou seja, mais detalhados.

Para a realização de uma análise minuciosa referente ao processo de coleta seletiva, fez-se necessário à sua divisão em etapas (Quadro 5) a fim de analisar e determinar os impactos ambientais oriundos de cada uma destas. Cada uma destas etapas foi considerada para o intervalo analisado (2015 a 2018).

Quadro 5: Etapas analisadas pela ACV. (Fonte: Autora, 2020).

Etapas	Descrição
Coleta Seletiva (CS)	Coleta de resíduos passíveis de reciclagem desde sua origem até os núcleos de triagem. A CS é realizada por caminhões das associações.
Coleta Regular (CR)	Coleta de resíduos domiciliares não segregados. A CR é realizada pelo caminhão compactador da EMLUR e segue desde os domicílios até a Central de Triagem ou diretamente para o Aterro.

Núcleos (N)	Consumo de água, eletricidade e arame (utilizado para formação de fardos de recicláveis) provenientes dos Núcleos do Bessa, Cabo Branco, Estados, Mangabeira e Caic.
Atravessadores (A)	Transporte realizado dos núcleos de coleta seletiva ou da central de triagem até os galpões dos atravessadores e destes até as empresas recicladoras. Ambos os percursos são realizados pelos atravessadores. O consumo de água, eletricidade e arame proveniente dos Galpões dos atravessadores não foram consideradas.
Central de Triagem (CT)	Consumo de água, eletricidade e arame proveniente das atividades desempenhadas dentro da CT.
Aterro Sanitário (AS)	Consumo de eletricidade e transporte realizado por trator no interior do aterro sanitário (sem a recuperação de energia). O consumo de água proveniente desta etapa não foi considerada (poço).
Empresas (E)	Consumos de água, eletricidade e diesel advindos do processo de reciclagem nas empresas recicladoras.

Sendo assim, foram inseridos dados de entrada referentes as etapas do processo (Quadro 5), para isso, utilizou-se dados retirados da base de dados Ecoinvent ou adaptou-se a biblioteca quando necessário para que a mesma se aproximasse do cenário a ser analisado. Para o presente estudo, a grande maioria dos dados de entrada inseridos foram obtidos diretamente com a empresa responsável pela limpeza urbana do município de João Pessoa (EMLUR), ou seja, trata-se de dados primários. Entretanto, em alguns casos fez-se necessário a utilização de dados retirados de bibliografias, para isso, consultou-se estudos similares. Além disso, os dados retirados da base de dados Ecoinvent 3.5 (2018) fez uso, preferencialmente, de informações brasileiras. Em casos de indisponibilidade de processos brasileiros no software SIMAPRO, optou-se pelo uso de processos adaptados para “{Rest of World- ROW}”, ou seja, resto do mundo ou, quando possível, pela adaptação dos processos já existentes.

No Quadro 6 estão mostrados os processos traduzidos da biblioteca Ecoinvent 3.5 (2018) adotados para cada uma das etapas consideradas. O Apêndice A apresenta os processos adotados pelas etapas analisadas na íntegra.

Quadro 6: Processos adotados pelas etapas analisadas pela ACV da coleta seletiva de João Pessoa. (Fonte: Autora, 2020).

Etapas	Base de dados Ecoinvent
Coleta Seletiva (CS)	Transporte, frete, caminhão 3.5-7.5 toneladas, euro3 {Resto do Mundo}
Coleta Regular (CR)	Transporte, frete, caminhão 7.5-16 toneladas, euro3 {Resto do Mundo}
Núcleos (N)	Eletricidade, baixa voltagem {Brasil} Água da Torneira {Resto do Mundo} Arame
Atravessadores (A)	Transporte, frete, caminhão 3.5-7.5 toneladas, euro3 {Resto do Mundo} Transporte, frete, caminhão 3.5-7.5 toneladas, euro3 {Resto do Mundo}
Central de Triagem (CT)	Eletricidade, baixa voltagem {Brasil} Água da Torneira {Resto do Mundo} Arame
Aterro Sanitário (AS)	Eletricidade, baixa voltagem {Brasil} Transporte, trator e reboque, agrícola {Global} Resíduos Sólidos Urbanos {Brasil} tratamento de aterros sanitários
Empresas (E)	Papel (tratamento de resíduos) {Global} reciclagem de papel Plásticos Misturados (tratamento de resíduos) {Global} reciclagem de plásticos misturados Aço e Ferro (tratamento de resíduos) {Global} reciclagem de aço e ferro Embalagem de Vidro Branco (tratamento de resíduos) {Global} reciclagem de embalagem de vidro.

Em cada processo adotado nas etapas consideradas no presente estudo, foram analisados os dados inseridos:

- Coleta Seletiva

Para a etapa de Coleta Seletiva (CS), verificou-se que o trajeto percorrido pelos caminhões das associações desde sua origem até os núcleos de triagem faz uso de um caminhão baú 3x4 de 4t que consome em média 5L/Km. Sendo assim, adotou-se a base de dados Ecoinvent (Quadro 6), o total vendido pelos núcleos em cada um dos anos em estudo e o somatório das distâncias percorridas entre o centro dos bairros contemplados pelos núcleos e os mesmos. O quantitativo vendido pelos núcleos foi obtido de forma primária, junto a EMLUR. As distâncias percorridas foram estimadas com o auxílio do software Google Earth Pro do qual obteve-se um total de 9,52km percorridos (Tabela 3), não sendo considerado o sentido das vias. Não foi considerado nenhum dado referente a Central de Triagem para esta etapa.

Tabela 3: Distância média estimada entre domicílios e núcleos. (Fonte: Autora, 2020).

Percurso Realizado	Distância (Km)
Domicílios – Núcleo Bessa	2,2
Domicílios – Núcleo Cabo Branco	2,1
Domicílios – Núcleo Jardim Cidade Universitária	2,5
Domicílios – Núcleo Mangabeira	1,48
Domicílios – Núcleo Bairro dos Estados	1,24
Total	9,52

É importante destacar que a estimativa das distâncias percorridas pela coleta seletiva são realizadas para efeito de trabalho e que embora os bairros beneficiados citados no Quadro 1 sejam atendidos pelos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa, os mesmos não são contemplados em sua totalidade. Ou seja, há domicílios inseridos nestas áreas que não participam ou não possuem ciência deste serviço desempenhado pelos associados. De acordo com os catadores, apesar de serem realizadas campanhas de conscientização com a população, grande parte não segrega o resíduo gerado. Por este motivo, ao longo dos anos, os associados retiraram algumas vias da rota exercida.

De maneira geral, adotou-se as distâncias elencadas na Tabela 3 como uma maneira de obter os impactos gerados pelos caminhões da coleta seletiva.

- Coleta Regular

A coleta regular (CR) é realizada por um caminhão Mercedes Benz 1113 de 16 toneladas da EMLUR e, percorre desde os domicílios até a CT ou diretamente para o

ASMJP. Para esta etapa, considera-se uma distância de 22km desde o centro de João Pessoa até o aterro sanitário (estimada com o auxílio do software Google Earth Pro) e o total de resíduos coletados pelo serviço de coleta domiciliar da EMLUR em cada um dos anos considerados (dado fornecido pela EMLUR).

- Núcleos

Na etapa Núcleos (N), considerou-se a energia e a água fornecidas pela base de dados Ecoinvent. Para energia, considerou-se o total gasto nos 5 núcleos para cada um dos anos em estudo (Tabela 4), sendo este dado coletado de contas de energia fornecidas pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), ou seja, fontes primárias. Os dados de energia foram inseridos no SIMAPRO em KWh.

Para água, considerou-se o total gasto nos núcleos para cada um dos anos em estudo (Tabela 4) e converteu-se o mesmo de m³ para t. Este dado também foi obtido com a EMLUR.

Tabela 4: Consumo de Energia e Água nos núcleos de coleta seletiva entre os anos de 2015 e 2018. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

Ano	2015	2016	2017	2018
Consumo de energia (KWh)	18241	16495	13616	13275
Consumo de água (m ³)	2558	2991	3303	2285

Além disso, nesta etapa foi inserida o dado referente ao uso de arame para formação de fardos de materiais nos núcleos, sendo “ARAME” composto por processos que se assemelhem ao cenário encontrado nesses locais e seu uso é retirado da multiplicação entre o total de resíduos vendidos por estes núcleos e 0,85kg/t processada (P. Lima et al, 2019).

- Atravessadores

Para a etapa Atravessadores (A), adotou-se o uso de um caminhão de 11t que é semelhante ao utilizado pela base de dados Ecoinvent (Quadro 6). Para esta etapa considerou-se dois trechos, onde em ambos as distâncias percorridas foram estimadas com o auxílio do Google Earth Pro, sem considerar o sentido da via e em linha reta. Para o trecho 1, considerou-se as distâncias entre os núcleos e a CT até os mesmos chegarem aos galpões dos atravessadores adotados. Para isso, verificou-se, em visitas realizadas aos núcleos e a CT, que os atravessadores recolhem material, em média, duas vezes por mês. Sendo assim,

para este trecho foi considerado o somatório de todas as distâncias entre todos os núcleos e da CT e os galpões elencados no Quadro 2 para cada ano em estudo. O trecho 1 totalizou 6676 Km/ano (Tabela 5). Além disso, considerou-se o quantitativo de resíduos vendidos nos mesmos anos.

Tabela 5: Trecho 1 realizado pelos atravessadores para cada ano em estudo. (Fonte: Autora, 2020).

Percurso Realizado	Distância (Km/ano)
Núcleo do Bessa – Atravessador de Papel	259,2
Núcleo do Bessa – Atravessador de Plástico	247,2
Núcleo do Bessa – Atravessador de Vidro	211,2
Núcleo do Bessa – Atravessador de Metal	412,8
Núcleo do Cabo Branco – Atravessador de Papel	194,4
Núcleo do Cabo Branco – Atravessador de Plástico	199,2
Núcleo do Cabo Branco – Atravessador de Vidro	187,2
Núcleo do Cabo Branco – Atravessador de Metal	278,4
Núcleo do Bairro dos Estados – Atravessador de Papel	129,6
Núcleo do Bairro dos Estados – Atravessador de Plástico	129,6
Núcleo do Bairro dos Estados – Atravessador de Vidro	93,6
Núcleo do Bairro dos Estados – Atravessador de Metal	271,2
Núcleo Jardim Cidade Universitária – Atravessador de Papel	350,4
Núcleo Jardim Cidade Universitária – Atravessador de Plástico	345,6
Núcleo Jardim Cidade Universitária – Atravessador de Vidro	379,2
Núcleo Jardim Cidade Universitária – Atravessador de Metal	124,8
Núcleo de Mangabeira – Atravessador de Papel	244,8
Núcleo de Mangabeira – Atravessador de Plástico	372
Núcleo de Mangabeira – Atravessador de Vidro	261,6
Núcleo de Mangabeira – Atravessador de Metal	153,6
Central de Triagem – Atravessador de Papel	434,4
Central de Triagem – Atravessador de Plástico	444
Central de Triagem – Atravessador de Vidro	472,8
Central de Triagem – Atravessador de Metal	379,2
Total	6576

Para o trecho 2, considerou-se a distância entre os galpões de atravessadores e empresas adotadas (Tabela 6), percurso realizado, em média, uma vez por mês em todos os anos em estudo (verificado em visitas realizadas entre dezembro de 2018 e abril de 2019). Assim, para este trecho, considerou-se o somatório de distâncias percorridas e o quantitativo de resíduos vendidos em cada ano.

Tabela 6: Trecho 2 realizado pelos atravessadores para cada ano em estudo. (Fonte: Autora, 2020).

Percurso Realizado	Distância (Km/ano)
Atravessador de Papel - Empresa de Reciclagem de Papel	4296
Atravessador de Plástico - Empresa de Reciclagem de Plástico	379,2
Atravessador de Vidro - Empresa de Reciclagem de Vidro	2904
Atravessador de Metal - Empresa de Reciclagem de Metal	2928
Total	10507,2

Admitiu-se que o consumo de água e energia nos galpões dos atravessadores é inexistente, já que os mesmos são utilizados apenas para armazenamento dos fardos de materiais até sua destinação as empresas em questão.

- Central de Triagem

Para a Central de Triagem, adotou-se três diferentes bases de dados referentes a eletricidade, água e arame. Para eletricidade e água adotou, respectivamente, o consumo de 45,878 Kwh/t e 1072,984 Kg/t (GARCIA, 2016). Para a formação de fardos, adotou-se 0,85kg/t processada (P. Lima et al., 2019). Além disso, o total de resíduos segregados e vendidos pela CT foi utilizado para todos estes processos.

- Aterro Sanitário

Para o Aterro Sanitário (AS), levou-se em consideração as bases de dados referentes a eletricidade, funcionamento de um aterro sanitário e transporte realizado pelo trator no interior do local, o qual adotou-se uma distância percorrida de 0,5km. O dado referente a água não foi considerado já que a mesma possui origem de poço e não pode ser consultada através de contas. De acordo com Garcia (2016), o consumo de energia médio no ASMJP é de 0,041 Kwh/t, sendo este valor adotado no presente estudo. No funcionamento para o aterro, adaptou-se a base dados fornecida para uma que se assemelhasse a realidade brasileira e desconsiderou-se a energia fornecida pela mesma. O processo de funcionamento do aterro foi considerado por representar um grande gerador de impactos para a etapa em questão, sobretudo a decomposição de resíduos. Para o quantitativo de resíduos adotado nesta etapa, reduziu-se o total de resíduos vendidos pela Central de Triagem do total que chega no ASMJP proveniente da coleta regular. É importante destacar que o aterro está sendo considerado pois é componente do sistema de gestão de resíduos sólidos do município em

estudo, ou seja, recebe rejeitos do programa de coleta seletiva provavelmente representando um grande gerador de impactos para o mesmo.

- Empresas

Para as Empresas (E) considerou-se os bancos de dados referente aos processos de reciclagem de cada um dos materiais adotados no presente estudo (papel, metal, vidro e plástico). Para isso, analisou-se as bases de dados fornecidas pelo software utilizado para este estudo e optou-se por processos que já considerassem os gastos de energia, água e transporte no interior da planta. Sendo assim, para esta etapa, o único dado inserido foi o quantitativo de resíduos vendidos pelos núcleos e central de triagem em cada um dos anos em estudo.

4.3.3 Avaliação de Impacto

Nesta etapa as informações geradas no Inventário do Ciclo de Vida são aplicadas ao software e associadas aos impactos ambientais (dados de saída desejados), possibilitando a sua avaliação. Para isso, utilizou-se o método CML-IA baseline versão 3.05/World 2000, pois é amplamente utilizado em estudos de avaliação de impactos do ciclo de vida de sistemas de gestão de resíduos sólidos (LAURENT et al., 2014) e contempla as categorias de impacto desejadas.

Entre as categorias de impacto disponibilizadas pelo método empregado, selecionaram-se eutrofização, acidificação, aquecimento global, destruição da camada de ozônio e oxidação fotoquímica (Quadro 7).

Quadro 7: Categorias de impacto e unidades consideradas. (Fonte: Autora, 2020).

Categoria de Impacto	Unidade
Acidificação	kg SO ₂ eq
Eutrofização	kg PO ₄ eq
Aquecimento Global	kg CO ₂ eq
Destruição da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₂ eq

É importante destacar que embora o método utilizado seja capaz de gerar resultados de uma quantidade maior de categorias, optou-se por fazer uso das cinco listadas no Quadro

7, pois estas são as mais frequentes analisadas nos estudos (GARCIA,2016; Nóbrega et al., 2019; BOVEA et al., 2010).

4.3.4 Interpretação dos Resultados da Avaliação do Ciclo de Vida

Por fim, todos os resultados da análise do inventário e avaliações do impacto são consideradas em conjunto (ABNT, 2014) para se obter conclusões e realizar recomendações.

É importante ressaltar que a análise ambiental do presente trabalho não considerou o cálculo monetário dos mesmos.

4.4 Análise econômica da coleta seletiva de João Pessoa

O estudo dos custos e benefícios existentes na coleta seletiva no município considerado deve realizar uma avaliação absoluta destes, evidenciando assim suas etapas ao longo do sistema.

Para isso utilizou-se as mesmas fronteiras determinadas no item 4.3, afim de realizar comparações entre os resultados obtidos em ambos os casos. Assim, os domicílios foram considerados como fronteira inicial, já que os recicláveis saem dos domicílios após o seu uso primário e são “descartados” pela população para que assim sejam levados a coleta seletiva ou diretamente ao ASMJP (coleta regular). Como fronteira final, considerou-se as empresas recicladoras, já que nestes locais realiza-se o processo de reciclagem propriamente dito.

Analizando a coleta seletiva de João Pessoa, é notável a existência de diversos agentes como a prefeitura, a indústria, os núcleos ou CT, os atravessadores e a sociedade, sendo o conceito de custos e benefícios variável para cada um destes. Sendo assim, o presente trabalho determinou como agente a prefeitura de João Pessoa (representado pela EMLUR), tendo em vista que na área de estudo em questão a gestão de resíduos sólidos é financiada com recursos públicos e, por este motivo, torna-se evidente a necessidade de avaliação de seus custos e benefícios pela sociedade.

Para realização de análise econômica é feito um estudo entre os custos e os benefícios em termos monetários, numa base de tempo comum, podendo esta ser expressa de três maneiras distintas: pela taxa interna de retorno, pela relação benefício/custo e pelo valor presente líquido. No presente estudo optou-se pelo uso do indicador econômico análise

benefício/custo (ABC), tendo em vista que o mesmo é utilizado nos relatórios anuais do Banco Mundial.

Além disso, para análise do Custo do Ciclo de Vida do Sistema de Coleta Seletiva da capital paraibana, considerou-se como base de tempo comum os anos de 2015 a 2018 para obtenção de dados junto a EMLUR, ou seja, mesmo período considerado para a análise ambiental adotada.

4.4.1 Custos

Considerando o agente Prefeitura, os custos diretos utilizados no presente estudo serão:

- Aluguel de Imóveis (AI)

Este dado foi obtido junto a EMLUR. Em casos de terrenos próprios da prefeitura utilizados pelos núcleos de coleta seletiva da capital paraibana, não serão considerados para este estudo.

- Mão-de-obra (MO)

Neste tópico considera-se os custos da prefeitura oriundos de alimentação, equipamento de proteção individual (EPI) e fardamento dos associados dos núcleos de coleta seletiva e central de triagem de João Pessoa e salários de motoristas contratados pela EMLUR para atender ao programa de coleta seletiva. O salário dos motoristas foi obtido através do Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED (2019).

- Serviços (S)

Para o funcionamento dos núcleos de coleta seletiva e central de triagem da EMLUR, torna-se fundamental o uso de energia e água. Para tanto, estes custos serão elencados neste trabalho, considerando-se o período em análise.

- Transporte e Combustível (TC)

Ao longo de todo o programa de coleta seletiva são utilizados meios de transporte, sobretudo caminhões, para o carreamento de recicláveis. Atualmente, a coleta seletiva de João Pessoa possui quatro (04) veículos tipo caminhão baú, que são compartilhados entre os núcleos.

As principais trajetórias realizadas pelos caminhões de coleta seletiva são os percursos dos domicílios ou comércios aos núcleos e, em menor frequência, dos núcleos aos atravessadores.

Sendo assim, este dado foi obtido junto a EMLUR e contemplará os gastos oriundos do aluguel de veículos e consumo de combustíveis no período de 2015 a 2018.

É importante destacar que embora existam outros meios de transporte (carrinhos manuais), este tópico considerará apenas os trechos realizados por caminhões. A decisão pelo não uso de carrinhos manuais para este estudo deve-se ao fato dos mesmos não consumirem combustível e estarem sendo, gradativamente, substituídos por caminhões, já que estes últimos apresentam uma capacidade maior de coleta do que os primeiros, além de oferecer melhores condições de trabalho para os associados da coleta seletiva. Sendo assim, devido às dificuldades encontradas, adotou-se apenas a coleta seletiva por caminhão.

4.4.2 Benefícios

Como benefícios diretos serão considerados:

- Venda de recicláveis pelos associados (V)

Embora esse benefício seja diretamente para os associados, ou seja, o agente prefeitura não recebe financeiramente por este tópico, pode-se considerar que os recicláveis vendidos pelos associados nos núcleos de coleta e CT funcionam como remuneração dos mesmos diante do trabalho exercido. Além disso, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010), define que é dever do município a implantação da coleta seletiva e a sua entrega em benefício das associações de catadores. Sendo assim, o sistema de coleta seletiva é diretamente beneficiado por esta venda, tornando-se fundamental a existência da mesma.

Assim, os custos e benefícios diretos relacionados à agente prefeitura podem ser dados pela Equação 4:

$$\frac{B}{C} \text{ (diretos)} = \frac{V}{AI + MO + S + TC} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

B = benefícios

C = custos

V = venda de recicláveis pelos associados

AI = aluguel de imóveis

MO = mão-de-obra

S = serviços

TC = transporte e combustível

Para uso da equação acima, aplica-se todos os dados em R\$.

Analisando-se o programa de coleta seletiva de João Pessoa, verificou-se a existências de benefícios indiretos de relevância, sendo estes:

- Custos evitados com o não aterramento (CEA)

Representa a receita obtida pela prefeitura de João Pessoa oriundos dos custos economizados com a disposição final devido ao não encaminhamentos dos resíduos recicláveis ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

- Custos evitados com a coleta regular (CEC)

Refere-se a economia obtida pela EMLUR através da prática da coleta seletiva por não transportar os resíduos recicláveis nos caminhões da coleta regular.

Assim, ao considerar também os benefícios indiretos existentes, a equação torna-se:

$$\frac{B}{C} \text{ (diretos e indiretos)} = \frac{V + CEA + CEC}{AI + MO + S + TC} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

B = benefícios

C = custos

V = venda de recicláveis pelos associados

CEA = custos evitados com o não aterramento

CEC = custos evitados com a coleta regular

AI = aluguel de imóveis

MO = mão-de-obra

S = serviços

TC = transporte e combustível

Sendo assim, a obtenção desta relação benefício/custo tem como finalidade o uso da ferramenta custo do ciclo de vida para obtenção de melhorias na gestão de resíduos em termos técnicos e econômicos.

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Quantitativo de Resíduos

O serviço de limpeza urbana da EMLUR envolve a coleta de uma ampla variedade de resíduos (Tabela 7). No presente estudo, considerou-se apenas os dados referentes à coleta de resíduos domiciliares e comerciais nos anos de 2015 a 2018, denominada coleta regular. Vale salientar que os resíduos comerciais são apenas os de pequenos geradores que a EMLUR coleta junto com a coleta domiciliar.

Tabela 7: Produção de resíduos por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Tipo (t)/Ano	2015	2016	2017	2018
Abatedouros de Aves	2.709,55	2.660,89	2.547,26	2.160,19
Caixas Estacionárias	3.073,70	3.273,65	2.733,29	2.789,48
Entulhos	201.406,28	193.156,60	155.852,84	167.616,40
Resíduos Domiciliares e Comerciais	248.352,22	248.348,75	246.936,42	258.932,52
Resíduos de Poda	21.405,90	24.170,64	15.132,06	14.142,54
Total	476.947,65	471.610,53	423.201,87	445.641,13

De acordo com Dantas (2019), no município de Natal foram geradas 262.497t de resíduos que foram destinadas para a coleta regular no ano de 2015 e 267.172t no ano de 2016. Assim pode-se observar que o município de João Pessoa assemelha-se a Natal com relação a produção de resíduos da capital do Rio Grande do Norte.

O serviço de coleta seletiva realizado na cidade João Pessoa ocorre paralelamente a coleta regular, onde os materiais já segregados na fonte são encaminhados aos núcleos de coleta seletiva existentes na área de estudo considerada. A Tabela 8 fornece a quantidade de recicláveis vendidos pelos núcleos de João Pessoa em cada um dos anos em estudo, ou seja, os materiais que foram atendidos pelo serviço de coleta seletiva existente na capital paraibana. É importante destacar que o controle e pesagem, destes resíduos, é feito no momento de venda de recicláveis aos atravessadores e enviado a EMLUR, ou seja, no momento de saída do núcleo de coleta.

Tabela 8: Quantitativo de resíduos vendidos pelos núcleos de João Pessoa por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Material (t) /Ano	2015	2016	2017	2018
Papel	640,68	483,29	688,85	768,57
Plástico	458,50	181,19	235,18	314,30
Vidro	131,33	76,66	30,56	282,40
Metal	217,93	174,91	129,35	264,14
Total	1448,44	916,04	1083,94	1629,42

Em relação aos materiais recicláveis vendidos pelos núcleos nos anos de 2015 a 2018 na capital paraibana, averiguou-se que estes são compostos majoritariamente por papel (51%), sendo o vidro (10%) o de menor comercialização. De acordo com os catadores, devido ao baixo valor de compra do vidro pelas empresas e a facilidade de produzi-lo (pela abundância de sua matéria prima principal, areia, no Brasil), poucos atravessadores permanecem trabalhando com este reciclável. De maneira geral, constatou-se que os recicláveis vendidos pelos núcleos no período estudado totalizaram 5.078 toneladas.

Além dos resíduos segregados que são levados diretamente aos núcleos de coleta seletiva, alguns são levados pela coleta regular e, após passar por uma triagem, são segregados pela central de triagem e seguem para reciclagem. A Tabela 9 mostra os resíduos recicláveis vendidos pela central de triagem aos atravessadores em cada um dos anos estudados.

Tabela 9: Resíduos recicláveis vendidos pela central de triagem de João Pessoa por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Material (t)/Ano	2015	2016	2017	2018
Papel	759,69	1465,21	804,79	827,01
Plástico	570,34	648,38	1331,18	1009,56
Vidro	58,78	1,53	1,27	25,83
Metal	192,79	70,93	152,66	311,01
Total	1581,60	2186,05	2289,90	2173,40

Assim, o total coletado para reciclagem no município de João Pessoa (Tabela 10), entre os anos de 2015 e 2018, é dado pelo somatório do total vendido pelos núcleos de coleta seletiva (Tabela 8) e o total vendido pela central de triagem – CT (Tabela 9).

Tabela 10: Total de resíduos recicláveis vendidos para indústrias recicladoras em João Pessoa entre 2015 e 2018 (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Ano	2015	2016	2017	2018
Total (t)	3030,04	3102,09	3373,84	3802,82

Analisando o município de Natal, verifica-se que o programa de coleta seletiva atendeu no ano de 2018, um total de 3153 toneladas de resíduos e possuía uma população de aproximadamente 885.180 habitantes (DANTAS, 2019). Sendo assim, comparando com o total coletado no município de João Pessoa no mesmo ano e a sua população (809.015 habitantes), tem-se que a capital paraibana coletou uma quantidade superior de resíduos reciclem seu serviço de coleta seletiva.

Sendo assim, aplicando-se valores referentes aos recicláveis de João Pessoa na Equação 2, obtém-se um GRR médio entre os anos de 2015 e 2018 de 6,31%. Analisando-se a Tabela 11 é possível notar um crescimento gradativo no cálculo do GRR ao longo dos anos, possibilitando-se observar que o programa de coleta seletiva de João Pessoa está conseguindo destinar corretamente uma quantidade de resíduos cada vez maior.

Tabela 11: Grau de Recuperação de Recicláveis para o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Ano	Produção de reciclável (t)	Produção da cidade (t)	Potencial reciclável (t)	GRR (%)
2015	3030,04	248.352,22	52153,97	5,81%
2016	3102,10	248.348,75	52153,24	5,95%
2017	3373,84	246.936,42	51856,65	6,51%
2018	3802,82	258.932,52	54375,83	6,99%
			Média	6,31%

Analisando-se separadamente os resíduos coletados pelos núcleos e pela central de triagem, tem-se que o grau de recuperação de recicláveis médio entre os anos de 2015 e 2018 foi de 2,41% nos núcleos e 3,91% na central de triagem (Tabela 12). Ou seja, a CT é

responsável por coletar a maior parte dos recicláveis de João Pessoa, porém, isso não indica necessariamente que a mesma é mais eficiente que a ação porta a porta, já que a primeira recebe mais resíduos e contem mais associados que a segunda. Além disso, é possível notar que a GRR núcleos obteve uma queda em seus valores nos anos de 2016 e 2017, proporcional ao que quantitativo coletado, enquanto a GRR CT obteve seus maiores valores nos referidos anos, havendo compensação no total de recuperação de recicláveis no período considerado. Provavelmente as variações ocorrentes ao longo do período considerado ocorreram devido à baixa participação popular no programa de coleta seletiva e divulgação deficiente do mesmo.

Tabela 12: Grau de Recuperação de Recicláveis nos Núcleos e na Central de Triagem do Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Ano	GRR núcleos (%)	GRR CT (%)	GRR total (%)
2015	2,78%	3,03%	5,81%
2016	1,76%	4,19%	5,95%
2017	2,09%	4,42%	6,51%
2018	3,00%	4,00%	6,99%
Média	2,41%	3,91%	6,31%

Para o cálculo do Índice de Resíduos (IR), adotando-se os valores referentes ao município de João Pessoa na Equação 3, percebe-se que ao longo dos anos de 2015 a 2018 houve uma redução no índice de recicláveis, ou seja, na quantidade de recicláveis destinadas ao Aterro Sanitário da capital paraibana, confirmando os resultados encontrados para o GRR anteriormente citados (Tabela 13).

Tabela 13: Índice de Resíduos para o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Ano	Produção de reciclável (t)	Produção da cidade (t)	Potencial reciclável (t)	IR (%)
2015	3030,04	248.352,22	52153,97	19,78
2016	3102,1	248.348,75	52153,24	19,75
2017	3373,84	246.936,42	51856,65	19,63
2018	3802,82	258.932,52	54375,83	19,53
			Média	19,67

Gomes e Nóbrega (2005) analisaram o Projeto Piloto de Coleta Seletiva de João Pessoa (Núcleo Cabo Branco) entre os anos de 2000 e 2002 e obtiveram um GRR médio de 1,29% e um IR médio de 23,25%. Sendo assim, é possível observar que o município em questão está progredindo no âmbito de resíduos ao longo dos anos, atendendo uma quantidade cada vez maior de recicláveis na coleta seletiva existente e reduzindo a quantidade de recicláveis destinados ao ASMJP. Entretanto, este índice não atende o índice que está previsto no PMGRSJ (2014) que é de 9 % para o ano de 2019.

Na Figura 12, pode-se observar o comparativo dos quantitativos atendidos pela coleta regular realizada pela EMLUR, os coletados para reciclagem (núcleos e central de triagem) e o somatório de ambos para o período em estudo. É possível notar uma significativa diferença entre os quantitativos que são coletados pela coleta regular e a quantidade de resíduos sólidos destinados a coleta seletiva. Verifica-se assim que a maior parte dos resíduos produzidos no município de João Pessoa é diretamente destinada para o aterro sanitário.

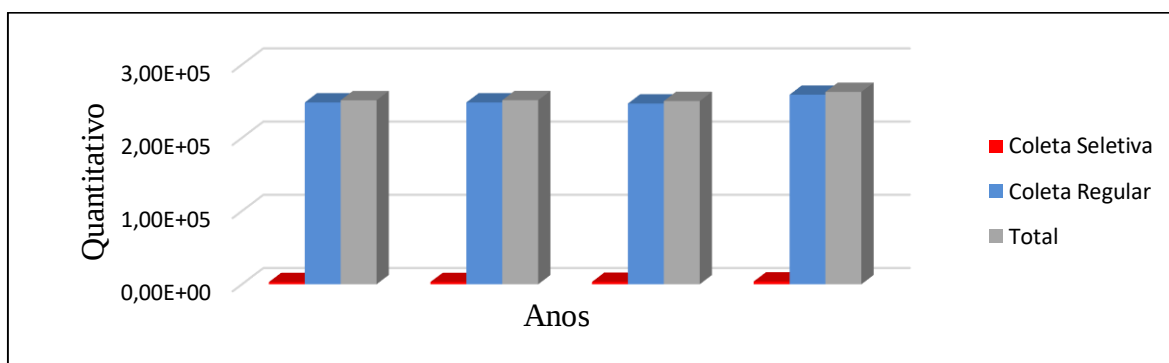


Figura 12: Distribuição quantitativa dos resíduos sólidos domiciliares coletados em João Pessoa/PB. (Fonte: Autora, 2020).

Assim, considerando o período analisado, do total de resíduos domiciliares potencialmente recicláveis em João Pessoa, menos de 6,31% é atendida pelos núcleos e central de triagem em cada ano. Porém, é importante ressaltar que há catadores autônomos (não associados e que não fazem parte do programa de coleta seletiva pesquisado) na capital paraibana, fato que, se contabilizado, pode indicar o aumento do GRR e redução do IR.

Os dados inseridos nas Tabelas 7, 8, 9 e 10 foram utilizados para a realização da análise ambiental e econômica da coleta seletiva de João Pessoa.

5.2 Análise Ambiental da coleta seletiva de João Pessoa

O presente estudo analisou as etapas do programa de coleta seletiva de João Pessoa para cada categoria de impacto analisada ao longo dos anos de 2015 a 2018.

- **Aquecimento Global**

É considerada a categoria de emissão de gases de efeito estufa, pois intensifica a absorção de radiação de calor da atmosfera da terra, resultando no aumento da temperatura na superfície (HUNG, 2019), acarretando em impacto global. Para Ferreira et al. (2014), o aquecimento global é responsável pelas emissões de gases de efeito estufa como o CO₂, CH₄ e N₂O. Comumente o aquecimento global é associado a fenômenos como o derretimento das geleiras, o aumento dos níveis dos oceanos e as mudanças dos eventos climáticos.

Para Zaman (2013), pode-se considerar uma forte relação entre o descarte dos resíduos e o aquecimento global.

O aquecimento global é representada em kg de CO₂ equivalente o qual se supõe o volume de gás de efeito estufa equivalente a uma tonelada de CO₂.

A Figura 13 analisa a contribuição do programa de coleta seletiva para a categoria de impacto em questão no período de 2015 a 2018.

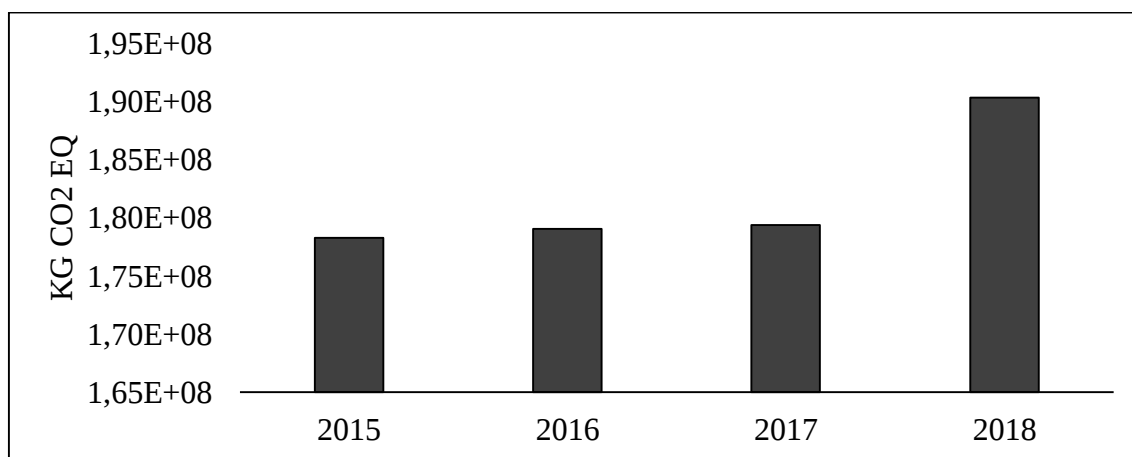


Figura 13: Contribuição da coleta seletiva para a categoria aquecimento global, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020).

É possível observar que o somatório das contribuições líquidas geradas pela coleta seletiva para a categoria de impacto aquecimento global nos anos estudados aumentaram gradativamente, passando de 1,78E+08 kg CO₂ eq em 2015 para 1,90E+08 kg CO₂ eq em

2018. Este aumento pode ser justificado pelo aumento de resíduos coletados na área de estudo considerada e pelo maior número de resíduos aterrados.

Além disso, é possível verificar que para todos os anos considerados foram obtidas contribuições líquidas positivas para a categoria de impacto aquecimento global, ou seja, existem mais impactos negativos gerados no programa de coleta seletiva para esta categoria do que benefícios (Figura 13).

A Figura 14 ilustra a contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria de impacto denominada de aquecimento global no período considerado.

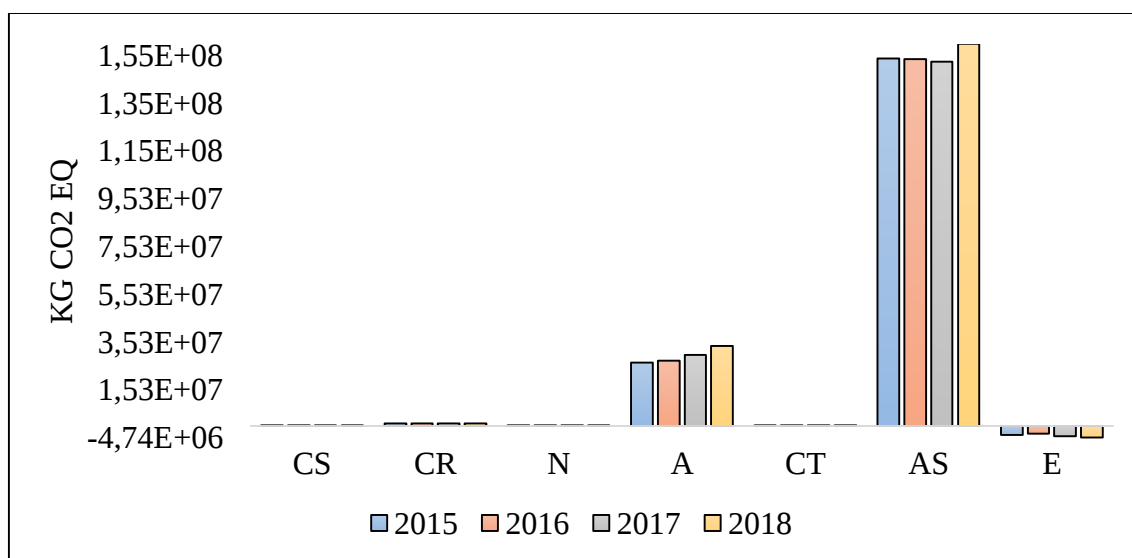


Figura 14: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria aquecimento global, período de 2005 a 2015. (Fonte: Autora, 2020).

Analisando-se o aquecimento global em cada uma das etapas consideradas no presente estudo (Figura 14), e ao longo do período adotado, constata-se que a etapa de atravessadores e aterro sanitário são as que possuem maiores impactos decorrentes da emissão de gases. Com o auxílio do software SIMAPRO tornou-se possível perceber que a geração de impacto nessas etapas deve-se, principalmente, aos processos de transporte e funcionamento do aterro sanitário (sobretudo pela queima de gases).

A etapa “E”, referente a empresas, é a única que possui benefícios líquidos, ou seja, emissões evitadas, devido ao processo de reciclagem empregada na mesma, porém estes não foram suficientes para superar os impactos gerados ao longo da coleta seletiva.

Martins (2017) e Nóbrega et al (2019) também concluíram que para a categoria aquecimento global, a etapa do aterro sanitário foi que mais contribuiu para a emissão de

gases de efeito estufa. Para Ibáñez-Forés et al. (2017a), o aterro sanitário é responsável, principalmente, pelas emissões geradas sobre as categorias de impacto aquecimento global e oxidação fotoquímica.

Para Yay (2015), a alta geração de gases de efeito estufa - GEE - nos aterros sanitários pode decorrer da ausência de controle de emissões nesses locais. Em João Pessoa, no período estudado, o aterro sanitário que recebe os resíduos domiciliares do município não possuía controle de emissões e recuperação energética, ratificando os resultados obtidos.

- **Depleção da Camada de Ozônio**

É a categoria referente a redução da camada de ozônio na estratosfera, podendo esta causar danos à saúde humana, aos ecossistemas, aos ciclos biogeoquímicos e aos materiais (HUNG, 2019). Assim, esta categoria de impacto acaba propiciando o aumento de radiações ultravioletas (UV-B), o que pode gerar doenças aos humanos, como o câncer de pele.

A depleção da camada de ozônio é expressa em kg-CFC⁻¹¹ equivalentes.

Na Figura 15, são mostradas as quantidades de CFC emitidos ao longo do período analisado, sendo todos os somatórios das contribuições líquidas geradas positivas para a categoria de impacto depleção da camada de ozônio. De maneira geral, é possível afirmar que as emissões aumentaram ao longo dos anos em estudo, ou seja, os impactos gerados cresceram no período considerado, isso ocorre devido ao aumento de resíduos atendidos pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa.

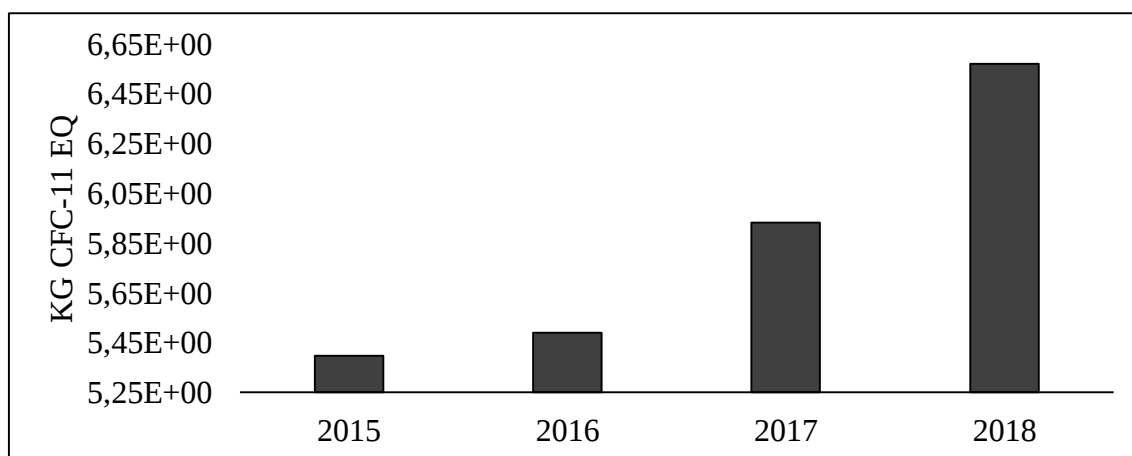


Figura 15: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de depleção da camada de ozônio, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020)

Analisando-se a depleção da camada de ozônio em cada uma das etapas consideradas no presente estudo ao longo do período adotado, constata-se que a etapa de atravessadores, aterro sanitário e coleta regular foram as que causaram maiores impactos decorrentes da emissão de gases entre os anos de 2015 e 2018 (Figura 16).

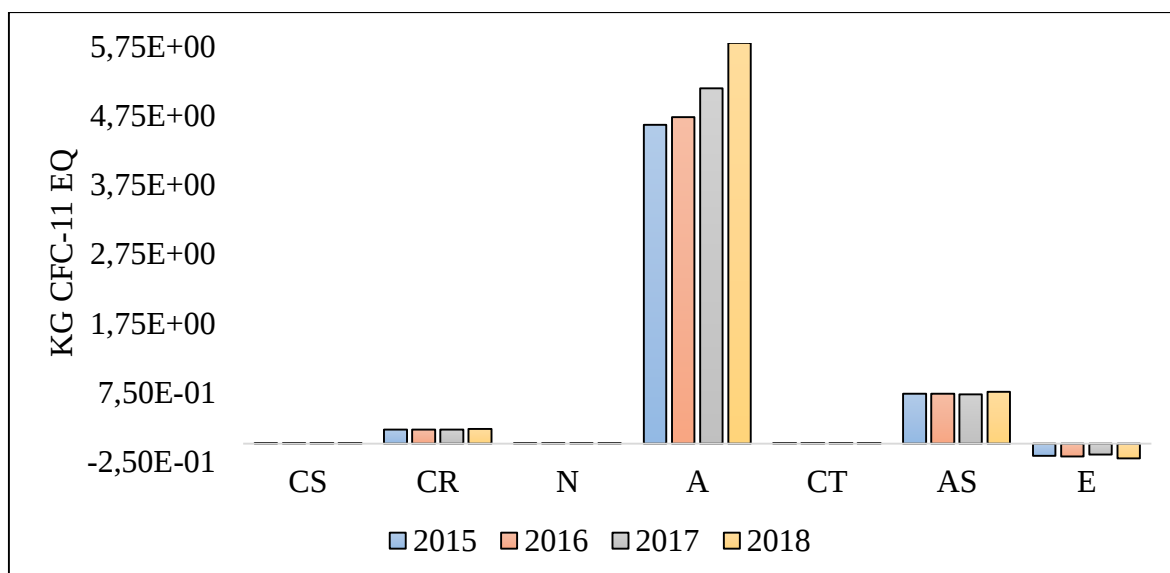


Figura 16: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria depleção da camada de ozônio, período de 2005 a 2015. (Fonte: Autora, 2020).

Analisando os processos inseridos em cada etapa, torna-se possível afirmar que as emissões geradas nessa categoria são advindas principalmente pelo uso de transportes e, em menor quantidade, pelo consumo de energia elétrica. É importante destacar que para o presente trabalho adotou-se uma matriz energética brasileira, ou seja, majoritariamente oriunda de fontes renováveis e por este motivo os danos ambientais advindos da eletricidade foram minimizados.

Segundo Yay (2015), as emissões na categoria de depleção da camada de ozônio são causadas principalmente pelos processos de transporte e incineração e pelo uso de eletricidade.

A etapa referente a empresas revelou a existência de benefícios líquidos, ou seja, emissões evitadas, porém as mesmas não são capazes de compensar os impactos ambientais gerados pelas outras etapas analisadas. Isso ocorre porque os impactos negativos oriundos, sobretudo, dos processos de transporte são quantitativamente superiores aos benefícios do processo de reciclagem inserido nas empresas.

- **Oxidação Fotoquímica**

A categoria de oxidação fotoquímica refere-se principalmente a poluição atmosférica e, conseqüentemente, a problemas respiratórios oriundos desta, sendo frequentemente relacionada ao setor de transportes.

Segundo Nóbrega et al (2019), a oxidação fotoquímica corresponde à formação de substâncias reativas que causam danos à saúde humana e aos ecossistemas.

No software ambiental utilizado para o presente trabalho, SIMAPRO, esta categoria de impacto é expressa em kg C₂H₄ eq.

A Figura 17 representa a contribuição da coleta seletiva para a oxidação fotoquímica entre os anos de 2015 e 2018.

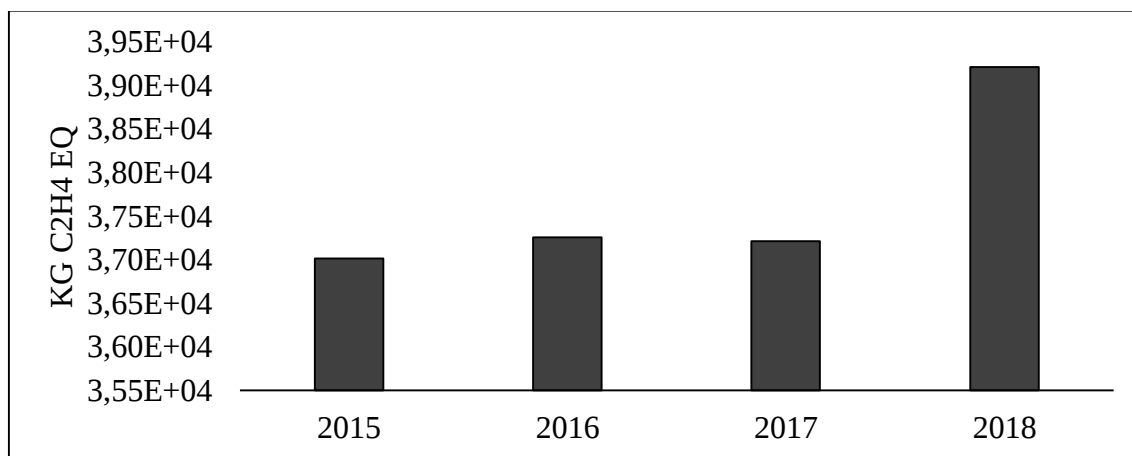


Figura 17: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de oxidação fotoquímica, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020).

O somatório das contribuições líquidas geradas para a categoria de oxidação fotoquímica para cada ano analisado demonstrou a existência de impactos para todo o período considerado, permanecendo praticamente constante nos anos de 2016 e 2017. Os benefícios gerados pelas empresas não superaram os impactos gerados para nenhum dos anos em estudo (Figura 17).

A Figura 18 revela que é possível afirmar que as etapas do programa de coleta seletiva que mais geram impactos na categoria de oxidação fotoquímica são o aterro sanitário e os atravessadores, sobretudo nos processos referentes ao transporte e ao funcionamento do aterro.

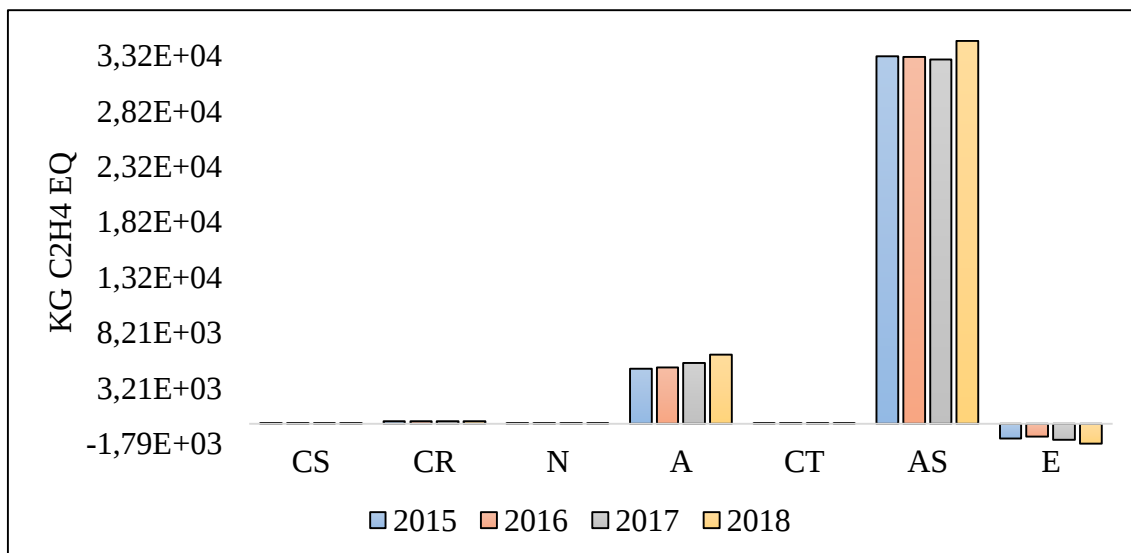


Figura 18: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria oxidação fotoquímica, período de 2005 a 2015. (Fonte: Autora, 2020).

Ratificando os resultados obtidos no presente trabalho, Meneu (2019) e Ibáñez-Forés et al. (2017a) obtiveram que o aterro sanitário é a etapa que mais contribui para o aumento da oxidação fotoquímica

Assim como obtido por Martins (2017) na categoria de impacto em questão, a etapa que contém o processo de reciclagem (empresas) não compensou a emissão de poluentes em nenhum ano de observação.

• Acidificação

É a categoria de impacto que causa a degradação de florestas e monumentos, influenciando diretamente no solo, na água subterrânea, nas águas superficiais, nos organismos biológicos, nos ecossistemas e nos materiais por ele atingidos (Silva et al, 2017). De acordo com Hung (2019), a emissão de dióxido de enxofre (SO_2) pode ocorrer devido a processos de volatilização e combustão, podendo causar “chuva ácida”.

A escala geográfica da acidificação varia entre local e continental

De acordo com Ferreira (2014), o impacto de acidificação. Geralmente, é causado por emissões de NH_3 , NO_2 e SO_x . Para este trabalho, a acidificação será expressa em $\text{Kg SO}_2^{\text{eq}}$.

A Figura 19 representa a contribuição da coleta seletiva para a acidificação entre os anos de 2015 e 2018.

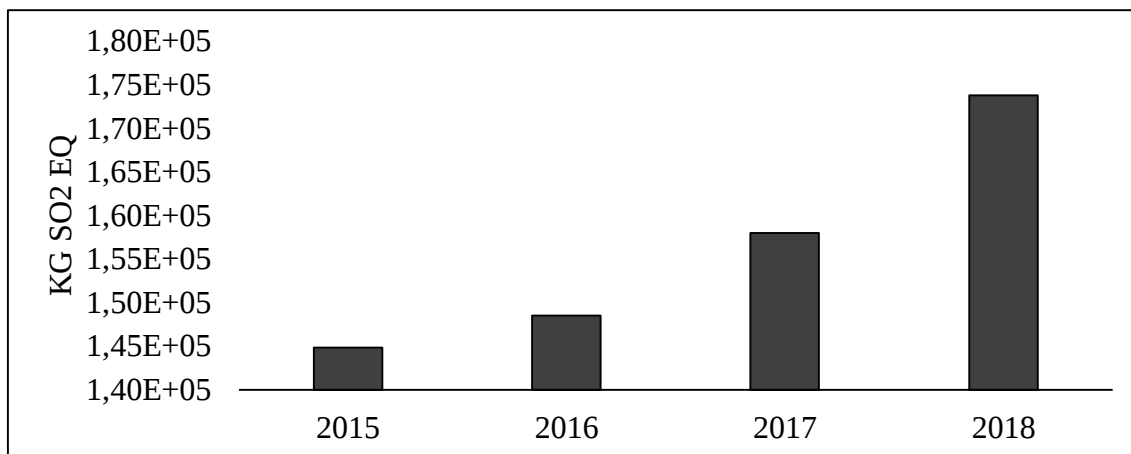


Figura 19: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de acidificação, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Os impactos gerados pela categoria de acidificação cresceram gradativamente ao longo dos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 (Figura 19), variando de 1,45E+05 Kg SO₂ eq no ano de 2015 à 1,74E+05 Kg de SO₂ eq no ano de 2018. Para todo o período considerado, os impactos gerados foram superiores aos benefícios líquidos existentes ao longo do processo.

Diferente do que se obteve no presente estudo, Martins (2017) obteve que para a categoria de acidificação, no período de 2005 a 2015, a etapa da reciclagem compensou as emissões geradas nas etapas do processo de coleta seletiva. Esta divergência pode ser compreendida a partir dos processos inseridos em cada etapa, podendo a escolha dos mesmos obter resultados divergentes entre si.

Nóbrega et al (2019) obtiveram em seu estudo que os benefícios oriundos da etapa empresas (reciclagem) para a categoria de acidificação não compensou os impactos produzidos nas demais etapas.

Observando a Figura 20 é possível afirmar que o processo de transporte é o principal responsável pelos impactos gerados na categoria acidificação, sobretudo nas etapas de aterro sanitário e atravessadores. A etapa empresas gerou benefícios líquidos para esta categoria porem são inferiores aos impactos produzidos pelas demais etapas.

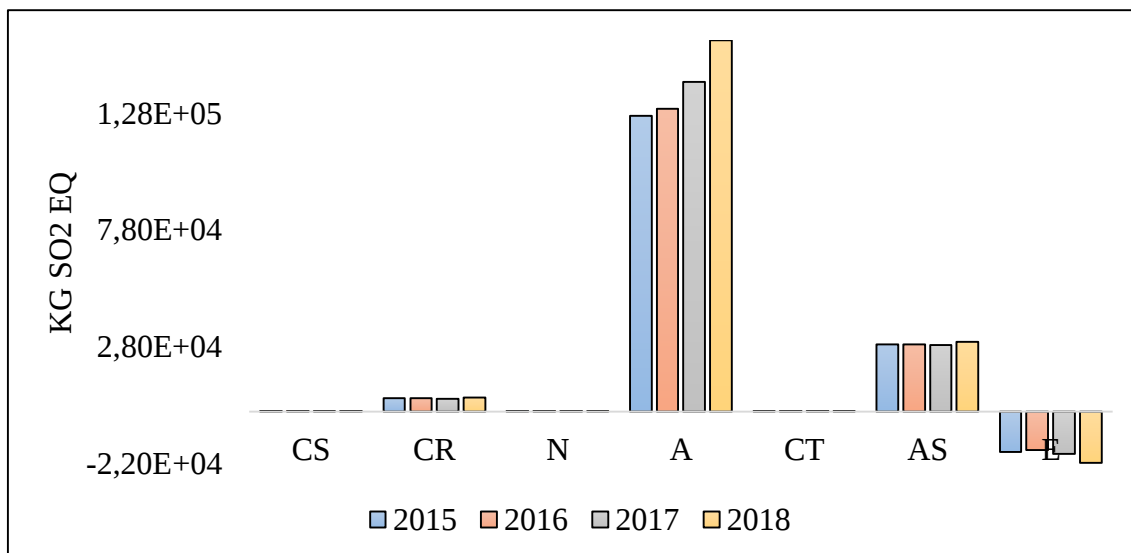


Figura 20: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria acidificação, período de 2005 a 2015. (Fonte: Autora, 2020).

Para reduzir os impactos gerados na categoria de acidificação deve-se buscar a diminuição dos danos oriundos dos transportes, como o encurtamento das distancias percorridas pelos recicláveis, adotando-se atravessadores e empresas recicladoras mais próximas do local de geração do referente resíduo. Além disso, quando possível, deve-se incentivar para que os recicláveis sejam diretamente encaminhados dos núcleos para as indústrias.

• Eutrofização

Segundo HUNG (2019), o fenômeno de eutrofização é decorrente do aumento da concentração de nutrientes em um corpo de água, causando a redução na diversidade de espécies e a superpopulação de uma espécie dominante que, com o tempo, consome o oxigênio presente na água. Além disso, a eutrofização pode tornar a água imprópria para consumo. Para Silva et al. (2017), a eutrofização é mais visível em águas superficiais, já que nestes ambientes o impacto gerado é evidenciado pelo crescimento das algas e a consequente queda de oxigênio.

A categoria de impacto eutrofização é expressa em equivalentes de fosfato (PO_4^{4-}).

Os somatórios dos impactos ambientais decorrentes da categoria de eutrofização gerados pouco variaram nos anos de 2015 a 2018, sendo estes respectivamente $6,57\text{E}+05$ Kg PO_4^{4-} , $6,56\text{E}+05$ Kg PO_4^{4-} , $6,55\text{E}+05$ Kg PO_4^{4-} e $6,89\text{E}+05$ Kg PO_4^{4-} , estando estas expressas na Figura 21.

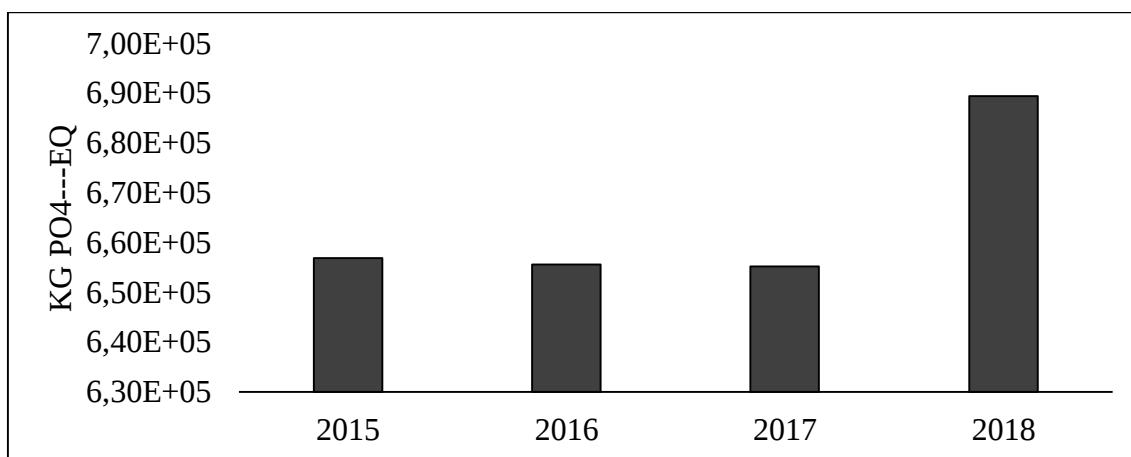


Figura 21: Contribuição da coleta seletiva para a categoria de eutrofização, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Durante o período considerado, os impactos decorrentes das etapas de coleta seletiva analisadas superaram os benefícios por elas geradas.

Na Figura 22 nota-se uma predominância de impactos gerados em etapas que envolvem processos referentes ao transporte e ao aterro sanitário. Trentin (2015) e Garcia (2016) relataram em seus estudos que que as etapas de coleta e disposição final em aterro sanitário constituem os principais impactos na categoria eutrofização.

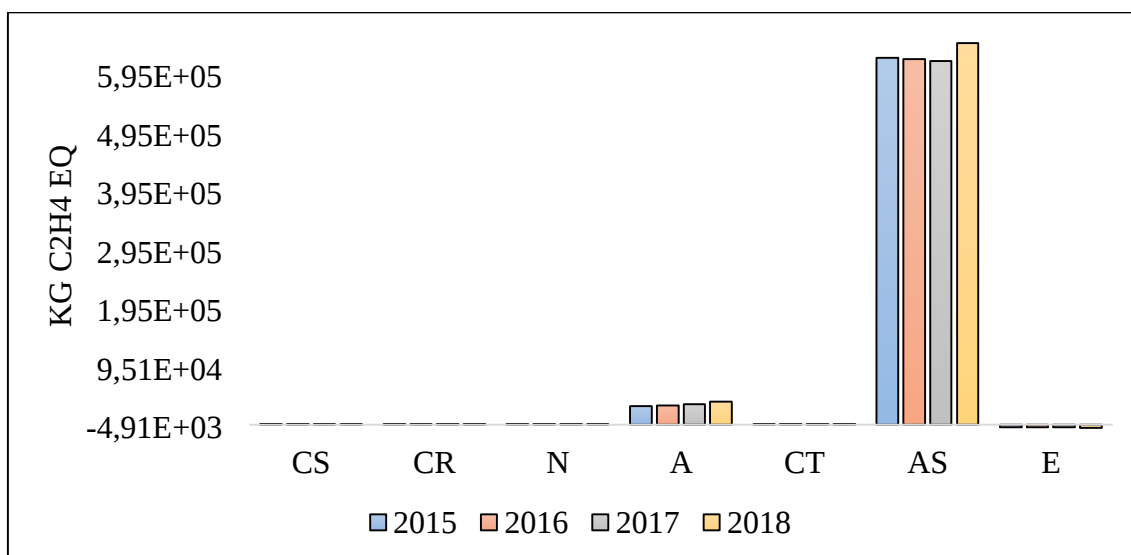


Figura 22: Contribuição das etapas de coleta seletiva para a categoria eutrofização, período de 2015 a 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Assim, a realização de estudos de análise ambiental no âmbito dos resíduos sólidos é de ampla importância, já que os mesmos são responsáveis por 18% das emissões de metano e de 3% a 4% das emissões de GEE no mundo (Haraguchi et al., 2019). Para isso, torna-se fundamental a identificação das principais fontes geradoras das emissões afim de buscar a redução ou controle das mesmas.

Nabavi-Pelesaraei et al. (2017) em seu estudo referente a avaliação do ciclo de vida e do fluxo de energia dos resíduos sólidos urbanos do município de Tehran, Irã, verificaram que o transporte, a eletricidade e o diesel são as principais causas de impactos ambientais no processo de reciclagem, devido à combustão de fósseis nos transportes e na eletricidade.

Rosado e Penteado (2019) verificaram, após avaliar o desempenho ambiental de Sistemas Municipais de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, que alguns municípios não apresentaram benefícios ambientais resultantes da reciclagem. Para os autores a inexistência de benefícios deve-se as significativas emissões oriundas dos processos de transporte e disposição final. As categorias de impacto consideradas foram aquecimento global, toxicidade humana, oxidação fotoquímica, acidificação e eutrofização.

De maneira geral, os resultados da análise ambiental da coleta seletiva de João Pessoa corresponderam com as bibliografias consultadas. Acredita-se que as poucas divergências entre estudos encontradas deve-se a inserção de diferentes processos no software utilizado (SIMAPRO).

É importante ressaltar que no presente trabalho, os benefícios gerados pelo processo de reciclagem foram proporcionais aos quantitativos de resíduos atendidos pelo serviço de coleta seletiva. Sendo assim, a Tabela 14 mostra um comparativo dos benefícios gerados pelos processos de reciclagem dos materiais considerados tomando como referência a reciclagem de 1 tonelada de resíduo para cada material analisado.

Tabela 14: Benefício líquido gerado pela reciclagem de 1 tonelada de reciclável. (Fonte: Autora, 2020).

Categoria de Impacto	Unidade	Plástico	Vidro	Papel	Metal
Aquecimento Global	kg CO ₂ eq	-1,82E+00	-1,30E+00	-5,92E-01	-1,70E+00
Depleção da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	-6,64E-09	-1,16E-07	-7,77E-08	-7,53E-08
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	-4,93E-04	-3,82E-04	-2,27E-04	-1,14E-03
Acidificação	kg SO ₂ eq	-5,49E-03	-9,80E-03	-4,81E-03	-6,97E-03
Eutrofização	kg PO ₄ --- eq	-3,44E-04	-1,42E-03	-1,75E-03	-2,12E-03

Assim é possível afirmar que o maior benefício ambiental é obtido na reciclagem de 1 tonelada de plástico considerando-se a categoria de impacto de aquecimento global, seguido pelo metal e pelo vidro na mesma categoria.

Sendo assim, sob o ponto de vista ambiental, a coleta seletiva de João Pessoa no período compreendido entre os anos de 2015 e 2018 gera impactos ambientais significativos negativamente sobretudo no transporte (etapas de atravessadores e coleta regular) e funcionamento do aterro (etapa de aterro sanitário).

Porém, embora o presente estudo constate que os impactos ambientais gerados pela coleta seletiva da área de estudo são superiores aos seus benefícios líquidos, é importante destacar que há benefícios líquidos ambientais provenientes deste projeto que não foram aqui elencados. Entre os quais pode-se destacar a substituição do lixão por aterro sanitário. Embora o funcionamento de aterro represente a geração de impactos ambientais, é importante destacar, por exemplo, que a substituição de lixão (cenário anteriormente empregado no município de João Pessoa) por aterro sanitário representa um enorme avanço sob o ponto de vista ambiental. Os lixões a céu aberto degradam os recursos naturais locais e prejudicam a qualidade ambiental da área diretamente afetada, propiciando impactos ambientais como o aumento do processo erosivo, contaminação e compactação do solo, emissão de gases de efeito estufa, estresse da fauna local, redução da biodiversidade nativa, entre outros (COSTA et al., 2016). Uma solução viável para reduzir os impactos ambientais oriundos dessa etapa seria o aproveitamento energético no aterro e otimização de processos no interior do mesmo.

O encaminhamento de resíduos para reciclagem realizado por caminhões também não deve ser visto como algo gerador de impacto apenas, já que a ausência desta prática acarretaria em não geração de empregos, maior montante de resíduos incorretamente destinados para o aterro, maior utilização de recursos virgens para produção de novos produtos nas empresas, entre outros. Ou seja, embora estejam sendo gerados impactos ambientais oriundos do transporte realizado pela coleta regular e atravessadores, os mesmos evitam uma série de outros impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes da não realização da coleta seletiva.

Assim, é fundamental ressaltar que a inexistência do programa acarretaria em diversos outros impactos como a degradação de recursos naturais, a não geração de empregos, ao maior montante de resíduos incorretamente destinados para o aterro sanitário, a maior utilização de recursos virgens para produção de novos produtos nas empresas, entre outros. Então, embora o programa de coleta seletiva atenda apenas, em média, 6,31% dos

recicláveis produzidos em João Pessoa, o mesmo é responsável, como já citado, por evitar uma série de outros impactos sociais, econômicos e ambientais que ocorreriam caso não existisse.

5.3 Análise econômica da coleta seletiva de João Pessoa

Para a realização da análise econômica da coleta seletiva de João Pessoa, fez-se necessário a prática de levantamentos monetários existentes ao longo do processo.

5.3.1. Custos Diretos

- Aluguel de Imóveis (AI)

Durante o período considerado, a EMLUR informou possuir apenas um único imóvel alugado à disposição da Coleta Seletiva localizado na Av. Paulino Pinto, Cabo Branco, João Pessoa, sobre o qual é cobrado um valor de R\$2.610,00 mensal, totalizando R\$31.320,00 durante cada ano de estudo (Tabela 15). Segundo a autarquia o valor referente ao aluguel do espaço em questão não passou por reajuste ao longo dos anos considerados neste estudo.

Tabela 15: Gastos anuais com aluguel de imóveis da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

	2015	2016	2017	2018
Aluguel de Imóveis	R\$31.320,00	R\$31.320,00	R\$31.320,00	R\$31.320,00

Através de informação obtida na EMLUR, constatou-se que o proprietário do terreno tem mostrado desinteresse em alugar o mesmo e, por este motivo, há a possibilidade de relocação do serviço de coleta seletiva para outra área próxima.

Este imóvel trata-se do núcleo de coleta seletiva do Cabo Branco, que foi responsável pela coleta de respectivamente 283,55 toneladas, 314,81 toneladas, 352,09 toneladas e 347,00 toneladas nos anos de 2015 a 2018 (Tabela 16).

Tabela 16: Quantitativo de resíduos vendidos pelo núcleo do Cabo Branco por tipo/ano (toneladas). (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Material (t)/ Ano	2015	2016	2017	2018
-------------------	------	------	------	------

Papel	129,96	134,39	207,01	188,25
Plástico	97,48	59,66	83,97	76,38
Vidro	39,12	18,82	6,14	48,54
Metal	16,99	101,94	54,97	33,83
Total	283,55	314,81	352,09	347,00

De acordo com a EMLUR, o núcleo do Cabo Branco é o mais antigo da capital paraibana, pois com o encerramento do Lixão do Roger, em 2003, o mesmo foi utilizado como Projeto Piloto de Coleta Seletiva de João Pessoa. Inicialmente, o núcleo do Cabo Branco funcionava em um outro galpão alugado, próximo a localização atual.

Os demais núcleos funcionam em terreno próprio da Prefeitura de João Pessoa. Segundo a EMLUR, os galpões do bairro do Bessa, Jardim Cidade Universitária e Bairro dos Estados são oriundos do acordo de encerramento do Lixão do Roger, o galpão do bairro de Mangabeira foi custeado pelo Governo Federal e a Central de Triagem está prevista no Plano de Trabalho da concessionária responsável pelo ASMJP.

Sendo assim, no presente trabalho, considerou apenas o aluguel do núcleo do Cabo Branco como custo “Aluguel de Imóveis”.

- Mão-de-obra (MO)

Segundo o Relatório de Gastos da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana os custos com mão-de-obra da coleta seletiva são oriundos do fornecimento de alimentação, equipamentos de proteção individual (EPI's) e fardamentos aos catadores associados dos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa e Central de Triagem e ao salário dos motoristas que trabalham para a coleta seletiva do município em questão (Tabela 17).

Em relação as alimentações citadas, a EMLUR fornece refeições (almoço) para os associados dos núcleos e central de triagem de segunda à sexta, tendo estas um valor unitário médio de R\$6,38 (embalagem e comida). Sendo assim, gastou-se um total de R\$275.616,00 com alimentação no ano de 2018. Quando questionados sobre os valores das quentinhas nos anos de 2015 a 2017, a EMLUR alegou que o valor da unidade das mesmas não sofreu alteração desde antes de 2015.

Ao longo do ano de 2018, o relatório de gastos da EMLUR com coleta seletiva contabilizou o gasto de R\$111.490,20 em equipamentos de EPI's e fardamentos distribuídos. O mesmo documento considerou neste item: camisa de algodão, bermuda de brim, boné, bota segurança de couro, bota segurança PVC, luva de proteção de algodão, luva de proteção de PVC, máscara de proteção, protetor solar e óculos de proteção. Quando questionados

sobre os gastos com EPI's e fardamentos nos anos de 2015 a 2017, a EMLUR alegou que trata-se de compras realizadas todos os anos e por isso o gasto não sofreriam grande alteração quando comparados aos fornecidos para o ano de 2018. Sendo assim, adotou-se R\$111.490,20 para gastos com EPI's e fardamento em todos os anos do presente estudo.

Em relação ao salário dos motoristas, de acordo com o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED (2019), este trabalhador no estado da Paraíba ganha em média R\$ 1.678,80 por 44 horas de jornada de trabalho, sendo assim, considerando-se que existem 4 motoristas contratados, o total gasto com o salário de caminhoneiros da coleta seletiva anualmente é de R\$ 80.582,4.

A Tabela 17 mostra os gastos anuais com mão-de-obra da coleta seletiva.

Tabela 17: Gastos anuais com mão-de-obra da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR (2018); CAGED (2019)).

		2015	2016	2017	2018
Alimentação	R\$	275.616,00	R\$ 275.616,00	R\$ 275.616,00	R\$ 275.616,00
Fardamento e EPI	R\$	111.490,20	R\$ 111.490,20	R\$ 111.490,20	R\$ 111.490,20
Salário Motoristas	R\$	80.582,40	R\$ 80.582,40	R\$ 80.582,40	R\$ 80.582,40
Total	R\$	467.688,60	R\$ 467.688,60	R\$ 467.688,60	R\$ 467.688,60

Entre os anos de 2015 e 2018, a EMLUR arcou, anualmente, o equivalente a R\$467.688,60 referente a mão-de-obra.

- Serviços (S)

O consumo de energia e água nos núcleos de coleta seletiva da área de estudo em questão foram consultados de maneira primária, ou seja, analisou-se as contas referentes aos consumos de água e esgoto e energia na EMLUR referentes aos anos em estudo. A Tabela 18 mostra os gastos com água e energia obtidos nas visitas realizadas a Autarquia. É importante ressaltar que estes valores não incluem os gastos de energia e água da Central de Triagem do Aterro Sanitário, já que este está sob responsabilidade da empresa concessionária do ASMJP, não sendo a mesma o agente escolhido para o presente estudo.

Tabela 18: Gastos anuais com energia e água e esgoto da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

	2015	2016	2017	2018
Energia	R\$11.745,70	R\$10.382,98	R\$9.563,08	R\$ 10.417,00
Água e Esgoto	R\$27.212,15	R\$39.022,68	R\$53.871,19	R\$43.133,61
Total	R\$ 38.957,85	R\$ 49.405,66	R\$ 63.434,27	R\$ 53.550,61

De maneira geral, é possível afirmar que o gasto com água e esgoto é superior ao gasto com energia, chegando a R\$53.871,19 no ano de 2017.

Sendo assim, gastou-se nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 respectivamente R\$26,90, R\$53,93, R\$58,52 e R\$32,86 em serviços por tonelada vendida nos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa.

- Transporte (T)

O item gastos com transporte mostrados na Tabela 19, refere-se aos custos oriundos de combustível e aluguel dos veículos que levam os materiais recicláveis desde sua origem (domicílios) até os núcleos de coleta seletiva. A capital paraibana conta, como já citado, com quatro (04) veículos tipo caminhão baú para transporte de materiais passíveis de reciclagem segregados, sendo os mesmos compartilhados entre os núcleos. A Central de Triagem não é considerada nos gastos de transporte da coleta seletiva, pois não possui caminhão para coleta de recicláveis, tendo em vista, como citado anteriormente, recebe o resíduo oriundo da coleta regular.

Tabela 19: Gastos anuais com transporte e combustível da coleta seletiva. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

	2015	2016	2017	2018
Aluguel de Veículos	R\$ 414.147,60	R\$ 414.147,60	R\$ 414.147,60	R\$ 414.147,60
Combustível	R\$ 245.321,84	R\$ 245.321,84	R\$ 245.321,84	R\$ 245.321,84
Total	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44

De acordo com o Relatório de Gastos da EMLUR (2018), ao longo do ano de 2018 foram gastos R\$514.875,60 com mão-de-obra de motoristas (04 da coleta seletiva e 01 do serviço de coleta de volumosos oferecido pela Autarquia) e aluguel de veículos para transportar os materiais recicláveis em João Pessoa, sendo este o item de maior valor entre

os citados pela EMLUR. Assim, para estimativa do gasto referente ao aluguel de caminhões, em 2018, foi abatido o valor gasto com mão-de-obra dos motoristas, ou seja, R\$ 100.728,00 do valor fornecido, obtendo-se um total de R\$ 414.147,60 em gastos de aluguel de veículos em 2018, ou seja, gasta-se em média R\$82.829,52 com aluguel de cada veículo anualmente.

Os valores gastos com combustível são referentes ao abastecimento dos veículos que realizam o transporte dos materiais recicláveis e ao veículo que transporta os associados até a CT. Neste último caso, utiliza-se um veículo tipo Ônibus pertencente a Associação de Trabalhadores de Materiais Recicláveis - ASTRAMARE, mas é abastecido com recursos da EMLUR. No total foram gastos R\$245.321,84 em combustível da coleta seletiva no ano de 2018.

Quando questionados sobre os custos de transporte e combustível nos anos de 2015, 2016 e 2017, a EMLUR alegou que estes são obtidos por meio de licitação e as mesmas não sofreram mudanças significativas durante o período de estudo. Portanto, considerou-se os mesmos valores para todos os anos contemplados pelo presente trabalho.

Anualmente foram gastos R\$659.469,44 em transporte (aluguel de veículos e combustível) nos núcleos de coleta seletiva de João Pessoa no período considerado.

Os custos referentes a aquisição, manutenção, avarias, acidentes e danos de veículos da coleta seletiva não foram fornecidos pela Autarquia de Limpeza Urbana de João Pessoa. Além disso, a EMLUR também não forneceu gastos referentes a manutenção dos núcleos (como material de limpeza, por exemplo) e custos com as máquinas existentes nos núcleos de coleta seletiva e central de triagem (aquisição, conserto e manutenção).

Sendo assim, os custos diretos envolvidos no Projeto Piloto de Coleta Seletiva considerados no presente estudo para o período de 2015 a 2018, estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20: Custo Médio Anual da Coleta Seletiva subsidiada pela EMLUR nos Anos 2015, 2016, 2017 e 2018. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

Custos/Anos	2015	2016	2017	2018
Aluguel de Imóveis	R\$31.320,00	R\$31.320,00	R\$31.320,00	R\$31.320,00
Mão-de-Obra	R\$ 467.688,60	R\$ 467.688,60	R\$ 467.688,60	R\$ 467.688,60
Serviços	R\$ 38.957,85	R\$ 49.405,66	R\$ 63.434,27	R\$ 53.550,61
Transporte	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44	R\$ 659.469,44
Total	R\$ 1.166.115,89	R\$ 1.176.563,70	R\$ 1.190.592,31	R\$ 1.180.708,65
Custos Mensais	R\$ 97.176,32	R\$ 98.046,98	R\$ 99.216,03	R\$ 98.392,39

De acordo com os custos diretos considerados no presente estudo, o gasto do serviço de coleta seletiva no município de João Pessoa nos anos de 2015, 2016, 2017 e 2018 foram respectivamente R\$ 1.166.115,89, R\$ 1.176.563,70, R\$ 1.190.592,31 e R\$ 1.180.708,65. Considerando que foi gasto o mesmo valor mensalmente, tem-se que as despesas mensais da EMLUR com a coleta seletiva no período em questão foram R\$ 97.176,32, R\$ 98.046,98, R\$ 99.216,03 e R\$ 98.392,39, para os anos 2015, 2016, 2017 e 2018, respectivamente.

Em estudo da análise econômica do núcleo do Cabo Branco do sistema de coleta seletiva de João Pessoa realizado por Gomes e Nóbrega (2005), os gastos mensais com o serviço nos anos de 2000, 2001 e 2002 foram respectivamente R\$4.091,25, R\$4.660,80 e R\$4.408,04, estando inclusos nesses valores os gastos referentes ao aluguel do núcleo, salário dos associados, água, energia, telefone, material de limpeza, manutenção dos equipamentos, serviços de contabilidade, fardamento e arame. Embora trate-se de um estudo similar, percebe-se que em um período de 17 anos os custos com a coleta seletiva aumentaram consideravelmente, sendo um dos motivos para isso a correção da inflação em 202,98% no período em questão. Vale ressaltar, que os autores, estudaram o Projeto Piloto, que abrangia apenas os bairros do Cabo Branco, Tambaú e parte de Manaíra.

De acordo com Pires et al (2019), em estudo realizado no município de Uberlândia-MG, tem-se que o custo do serviço de coleta seletiva no ano de 2014 foi de R\$2.734.286,06, porém, o estudo não elencou que gastos foram considerados. Quanto a coleta regular, de acordo com o mesmo estudo, gastou-se em 2014 o total de R\$24.975.198,74. Porém, embora os custo com a coleta seletiva sejam inferiores aos da coleta regular, os autores evidenciam que os mesmos são responsáveis por atender uma quantidade inferior de resíduos quando comparados a convencional.

De acordo com o CICLOSOFT (2018), o custo médio da coleta seletiva é de R\$442,24 por tonelada atendida, enquanto o custo da coleta regular de lixo é de R\$ 95,00, ou seja, o custo da coleta seletiva é 4,6 vezes superior ao custo da coleta convencional.

Considerando o total de resíduos atendidos por cada custo considerado neste trabalho e o total gasto com pela coleta seletiva de João Pessoa, tem-se que no período compreendido entre 2015 e 2018, o custo da tonelada da coleta seletiva de João Pessoa-PB foi R\$747,00, R\$1024,10, R\$894,50, R\$650,84, respectivamente.

Segundo Dantas (2019), na cidade de Natal-RN, nos anos de 2013 a 2016, os custos da coleta seletiva foram R\$148,80/t, R\$149,90/t, R\$ 208,90/t e R\$174,00/t, respectivamente. É importante destacar que o sistema de coleta seletiva de Natal é semelhante ao da capital paraibana, porém a autora utilizou apenas os custos relacionados com a coleta e transporte

financiado pela empresa responsável pelo serviço de limpeza urbana do município em questão, não sendo possível uma comparação precisa com o presente estudo.

5.3.2 Benefícios Diretos

- Venda de recicláveis pelos associados (V)

Em visitas realizadas aos núcleos de coleta seletiva e central de triagem, verificou-se o valor de venda dos materiais recicláveis aos atravessadores considerados no presente estudo (Tabela 21). Nesta etapa, percebeu-se que há valores diferentes para as variadas tipologias de papel, plástico, vidro e metal, fazendo-se necessário elencá-los de forma diferenciada.

Tabela 21: Valor de venda dos materiais recicláveis dos núcleos e central de triagem aos atravessadores. (Fonte: Adaptado EMLUR, 2020).

Materiais	Preço (R\$/t)
Papelão	350,00
Papel Branco	350,00
Papel Misto	150,00
PET	1000
Plástico Grosso	800
Plástico Fino	1000
Plástico Misto	300
Vidro	80
Ferro	350
Alumínio	3500,00

Comparando os valores de venda de recicláveis de João Pessoa com outros municípios brasileiros citados na Tabela 1, verifica-se que o preço cobrado pela tonelada da maioria dos materiais na capital paraibana é inferior. Entre os municípios citados, Mesquita (RJ) e Cambará (PR) são os que apresentam valores semelhantes.

Com posse do montante vendido nos anos em estudo (Tabela 8 e Tabela 9) e dos valores cobrados por cada um dos materiais comercializados (Tabela 21), torna-se possível, através de cálculo simples, a obtenção do total ganho pelos catadores associados com a venda de recicláveis nos núcleos e CT de João Pessoa no período considerado (Tabela 22). Para

obtenção destes valores, considerou-se a média dos valores cobrados pelos diferentes tipos de papel, plástico e metal.

Tabela 22: Benefícios anuais com a venda de recicláveis pelos associados. (Fonte: Autora, 2020).

	2015	2016	2017	2018
Papel	R\$ 396.771,50	R\$ 552.075,00	R\$ 423.198,00	R\$ 452.081,00
Plástico	R\$ 797.351,00	R\$ 642.916,75	R\$ 1.213.929,00	R\$ 1.025.991,50
Vidro	R\$ 15.208,80	R\$ 6.255,20	R\$ 2.546,40	R\$ 24.658,40
Metal	R\$ 790.636,00	R\$ 473.242,00	R\$ 542.869,25	R\$ 1.107.163,75
Total	R\$ 1.999.967,30	R\$ 1.674.488,95	R\$ 2.182.542,65	R\$ 2.609.894,65

De acordo com a Tabela 22, considerando o total de recicláveis vendidos nos anos em estudo e que João Pessoa possui 153 associados nos locais de estudos (PMGRS-JP, 2014), cada um destes possui um salário mensal de R\$1089,30 em 2015, R\$912,03 no ano de 2016, R\$1188,74 em 2017 e R\$1421,00 no ano de 2018, porém, em conversas informais realizados nas visitas, os associados alegaram receber uma remuneração inferior a este valor com a venda dos recicláveis, mostrando divergência. Isto pode ser explicado, pois a divisão dos materiais vendidos entre os associados não ocorre de forma igualitária. Segundo informações obtidas em conversas, já houve esta prática no passado, mas os associados não acharam justa, pois uns trabalhavam mais do que outros, por exemplo. Portanto, os associados retiram de acordo com o que coletam. Além disso, é importante destacar que o valor de venda pode variar de acordo com a época do ano e com o próprio funcionamento dos associados.

Para o ano 2015, o salário mínimo era de R\$ 788,00 e o salário mensal médio estimado de cada associado foi de R\$1.089,30; no ano de 2016, o salário mínimo brasileiro era de R\$880,00 e um associado, de acordo com a estimativa realizada, ganhava mensalmente aproximadamente R\$912,03; em 2017, o salário mínimo foi de R\$ 937,00 e cada associado possuía um salário estimado equivalente a R\$1188,74; por fim, no ano de 2018 o valor nominal do salário mínimo passou a ser R\$ 954,00 e estimou-se que cada associado ganhava mensalmente o valor de R\$1421,00. Assim, de acordo o benefício encontrado, o associado da coleta seletiva obteve um salário superior ao mínimo nacional ao longo do período considerado.

Garcia (2016), em seu estudo analisou a subcategoria “salário justo” afim de analisar o impacto do ciclo de vida social (AICVS) da coleta seletiva do bairro do Bessa. Após um estudo detalhado a autora considerou o desempenho da atividade como inadequado, pois averiguou que ao longo do ano considerado a média da renda mensal destes trabalhadores foi de R\$ 725,00, sendo este valor inferior ao salário mínimo (SM) no Brasil do ano do estudo (2014).

Sendo assim, os benefícios diretos envolvidos no Projeto Piloto de Coleta Seletiva, no período de 2015 a 2018, estão mostrados na Tabela 23.

Tabela 23: Benefícios diretos anuais da coleta seletiva entre os anos de 2015 à 2018.
(Fonte: Autora, 2020).

Receita	2015	2016	2017	2018
Venda de Recicláveis	R\$ 1.999.967,30	R\$ 1.674.488,95	R\$ 2.182.542,65	R\$ 2.609.894,65

Então, a relação B/C em cada um dos anos em estudo encontra-se na Tabela 24 Para esta, considerou-se apenas os benefícios e custos diretos.

Tabela 24: Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se apenas benefícios e custos diretos. (Fonte: Autora, 2020).

Ano	Produção (t)	Receita (R\$)	Custo (R\$)	Relação ABC
2015	3030,04	R\$ 1.999.967,30	R\$ 1.166.115,89	1,72
2016	3102,1	R\$ 1.674.488,95	R\$ 1.176.563,70	1,42
2017	3373,84	R\$ 2.182.542,65	R\$ 1.190.592,31	1,83
2018	3802,82	R\$ 2.609.894,65	R\$ 1.180.708,65	2,21

Assim, considerando apenas os benefícios e custos diretos, a relação média anual ABC é de 1,79, ou seja, os benefícios diretos obtidos são 79 % superiores aos custos diretos envolvidos no sistema de coleta seletiva estudado.

Gomes e Nóbrega (2005), ao aplicarem a relação ABC considerando apenas os benefícios e custos diretos sobre a coleta seletiva de João Pessoa nos anos de 2000 a 2002, obtiveram 1,91. Ou seja, ambos os estudos averiguaram que os benefícios econômicos sobrepuseram os custos advindos do serviço subsidiado pela EMLUR. Entretanto, é importante notar que esta relação reduziu com o passar dos anos e para reverter este caso torna-se necessária a tomada de decisões para aprimorar a coleta seletiva.

5.3.3 Benefícios Indiretos

- Custos Evitados com o não aterramento

Considerando-se os resíduos vendidos para reciclagem em João Pessoa entre 2015 e 2018 (Tabela 8 e Tabela 9) e que, segundo a EMLUR, o custo de aterramento de resíduos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa atualmente é de aproximadamente R\$44/tonelada, o benefício indireto gerado pelo não aterramento de resíduos recicláveis entre os anos de 2015 e 2018 estão mostrados na Tabela 25.

Tabela 25: Benefícios indiretos do não aterramento de resíduos recicláveis de João Pessoa entre os anos de 2015 à 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Receita	2015	2016	2017	2018
Custos Evitados Aterramento	R\$ 133.321,76	R\$ 136.492,40	R\$ 148.448,96	R\$ 167.324,08

Sendo assim, no período estudado, foi obtido um benefício total de R\$ 585.587,20 pelo não aterramento de resíduos recicláveis no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

- Custos evitados com a coleta regular

De acordo com Pimentel (2017), em estudo realizado sobre as rotas tecnológicas do município de João Pessoa, o serviço de coleta domiciliar convencional (Coleta Regular) é realizado por três diferentes empresas que cobram em média R\$122,93 por tonelada de resíduo coletada até o ASMJP. Sendo assim, com base no custo unitário da coleta convencional (R\$/tonelada) e no material recolhido pela coleta seletiva (em toneladas), é possível determinar que a Prefeitura de João Pessoa economizou R\$ 624.218,87 (Tabela 26) em coleta domiciliar convencional pela prática da coleta seletiva no período analisado, correspondendo a um benefício indireto do Programa de Coleta Seletiva. É importante destacar que para este cálculo não foi considerado o montante de resíduos recicláveis vendidos pela central de triagem, pois este foi submetido a coleta regular e apenas no aterro passou pela segregação.

Tabela 26: Benefícios indiretos dos custos evitados com coleta de resíduos recicláveis de João Pessoa entre os anos de 2015 à 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Receita	2015	2016	2017	2018
Custos Evitados Coleta	R\$ 178.056,73	R\$ 112.608,80	R\$ 133.248,74	R\$ 200.304,60

Assim, em serviço de coleta e aterramento de resíduos domiciliares, João Pessoa gasta em média R\$ 166,93/tonelada. De acordo com Teske et al. (2018), em estudo sobre a avaliação dos custos dos serviços do manejo de resíduos sólidos domiciliares em 21 municípios brasileiros, gasta-se em média R\$ 288,99 com as operações de coleta, transporte e disposição final de resíduos domiciliares. Sendo assim, o valor cobrado em João Pessoa pode ser considerado baixo quando comparado com a realidade de outros municípios do país.

Então, a relação B/C em cada um dos anos em estudo considerando-se os benefícios direto e indireto encontra-se na Tabela 27.

Tabela 27: Relação Benefício/Custo da coleta seletiva, considerando-se benefícios diretos e indiretos e custos diretos. (Fonte: Autora, 2020).

Ano	Receita (R\$)	Custo (R\$)	Relação ABC
2015	R\$ 2.311.345,79	R\$ 1.166.115,89	1,98
2016	R\$ 1.923.590,15	R\$ 1.176.563,70	1,63
2017	R\$ 2.464.240,35	R\$ 1.190.592,31	2,07
2018	R\$ 2.977.523,33	R\$ 1.180.708,65	2,52

Assim, considerando os benefícios diretos e indiretos e custos diretos, a relação média anual ABC é de 2,05, ou seja, os benefícios obtidos são 105 % superiores aos custos envolvidos no Programa de Coleta Seletiva.

Gomes e Nóbrega (2005), ao aplicarem os custos e benefícios diretos e indiretos obtiveram, uma relação ABC média de 1,45. Essa redução ocorreu devido ao elencamento de uma maior quantidade de custos provenientes de encargos sociais. Naquele trabalho não foram considerados custos indiretos.

Além disso, é importante destacar que o presente estudo se restringiu ao agente direto considerado, EMLUR, e aos custos e benefícios fornecidos pela mesma. Ao considerar-se o sistema de coleta seletiva de maneira geral e mais detalhada outros custos e benefícios tornam-se evidentes e podem ser contabilizados, entre os quais estão os benefícios oriundos da qualidade de vida dos catadores que anteriormente trabalhavam no lixão do município de João Pessoa, a geração de empregos, os ganhos ambientais, as emissões gasosas evitadas, entre outras. Ou seja, a análise mais detalhada do sistema de coleta seletiva de João Pessoa e a não adoção de um agente podem elevar ainda mais os benefícios econômicos oriundos do programa.

Além dos benefícios diretos e indiretos citados no presente estudo existem outros ganhos da prefeitura decorrentes do âmbito dos resíduos sólidos, entre os quais estão as taxas de resíduos cobrados (TCR).

De maneira geral a TCR representa os ganhos da prefeitura de João Pessoa oriundos da cobrança de taxa de limpeza pública à população pessoense, devendo a mesma ser vista como benefício da Prefeitura. De acordo com a EMLUR, arrecadou-se entre os anos de 2015 e 2018 um total de R\$ 80.743.120,52 com a cobrança de Taxa de Limpeza Pública à população de João Pessoa (Tabela 28).

Tabela 28: Valores anuais arrecadados com a cobrança da TCR em João Pessoa (Fonte: Adaptado EMLUR, 2019).

Ano	Valor arrecadado
2015	R\$ 17.107.130,57
2016	R\$ 18.998.950,46
2017	R\$ 21.423.655,86
2018	R\$ 23.213.383,63
Total	R\$ 80.743.120,52

No entanto, de acordo com o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa (2014), o valor cobrado no município não cobre as despesas municipais com limpeza urbana, sendo o montante arrecadado responsável por apenas 1/7 dos custos de João Pessoa com o serviço e o índice de inadimplência na taxa de resíduos superior a 50%.

O valor arrecadado pela cobrança da taxa de resíduos em João Pessoa não é destinado diretamente para a coleta seletiva, sendo revertida, principalmente, para serviços de transporte, destinação final e administração dos resíduos sólidos (PMGIRS-JP, 2014).

Ou seja, embora a TCR de João Pessoa não possa ser considerada um benefício direto e indireto para a coleta seletiva do município, a mesma possui um papel fundamental para a gestão de resíduos municipais.

Segundo Siritorn e Permpoonwiwat (2019), a cobrança de uma taxa fixa ou taxa ideal para o serviço de coleta de resíduos estimula a diminuição da quantidade de resíduos gerados e maior participação popular nessa temática.

Além da Prefeitura de João Pessoa, agente considerado no presente estudo, há benefícios oriundos do Programa de Coleta Seletiva que favorecem monetariamente outras

partes do sistema como a sociedade e o meio ambiente. A prática da coleta seletiva, além de substituir os recursos virgens por recursos reciclados, gera economia de energia e, consequentemente, gera benefícios para diversos atores do sistema.

A economia de energia envolvida no processo de aproveitamento dos materiais recicláveis varia de acordo com o material a ser reciclado.

Para Nóbrega (2003), a energia economizada no processo de reaproveitamento de metais é de 16,9 MWh por tonelada, de papéis é de 3,51 MWh/t, de plásticos economiza-se 5,3 MWh/t e, para vidro, 0,64 MWh/t.

Longo et al. (2019) verificaram o consumo de energia evitado com a reciclagem e constataram que todos os materiais contribuíram com a redução do mesmo após a substituição de matéria virgem por reciclável. Segundo os autores, o consumo de energia do papel reduz de 4,98 MWh/t para 1,47 MWh/t; o plástico reduz de 5,28 MWh/t para 0,83 MWh/t; o metal reduz de 17,60 MWh/t para 0,70 MWh/t e o vidro reduz de 4,83 MWh/t para 4,19 MWh/t. Sendo assim, é possível afirmar que a reciclagem de metais (sobretudo não-ferrosos) é a mais rentável e a reciclagem do vidro é pouco rentável. A pequena diferença energética entre o uso do vidro oriundo de matéria virgem e reciclável pode justificar a baixa aceitação desse material no âmbito da reciclagem.

Segundo o método simplificado adotado por Longo et al. (2019), a energia economizada pelo processo de reciclagem pode ser calculada com posse do quantitativo de resíduos atendidos pelo programa de coleta seletiva e o comparativo da energia consumida a partir do uso de recursos virgens e de recursos reciclados.

Assim, aplicando-se os resíduos atendidos pela coleta seletiva em João Pessoa, a energia consumida (MWh/t) para cada material a partir de recursos virgens e reciclados adotados por Longo et al. (2019) e os custos unitários da energia (R\$/MWh) correspondentes aos valores médios praticados no período em estudo (ANEEL, 2019), tornou-se possível a obtenção da energia economizada pela prática da coleta seletiva na capital paraibana entre os anos de 2015 e 2018 (Tabela 29).

Tabela 29: Energia economizada pela reciclagem dos materiais coletados pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018. (Fonte: Autora, 2020).

Material	Produção (t)	Energia Consumida (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh/t)	Energia Consumida (MWh/t)	Energia Consumida total (MWh/t)	Custo da Energia (R\$/MW h)	Economia de Energia (R\$)
Recursos Virgens				Recursos Reciclados			
2015							
Papel	1400,37	4,98	6973,84	1,47	2058,54	313,88	1.542.813,96
Plástico	1028,84	5,28	5432,28	0,83	853,94	313,88	1.437.048,73
Vidro	190,11	4,83	918,23	4,19	796,56	313,88	38.189,91
Metal	410,72	17,60	7228,67	0,70	287,50	313,88	2.178.693,81
2016							
Papel	1948,50	4,98	9703,53	1,47	2864,30	337,31	2306942,36
Plástico	829,57	5,28	4380,13	0,83	688,54	337,31	1245209,04
Vidro	78,19	4,83	377,66	4,19	327,62	337,31	16879,53
Metal	245,84	17,60	4326,78	0,70	172,09	337,31	1.401.420,51
2017							
Papel	1493,64	4,98	7438,33	1,47	2195,65	369,33	1936277,67
Plástico	1566,36	5,28	8270,38	0,83	1300,08	369,33	2574341,64
Vidro	31,83	4,83	153,74	4,19	133,37	369,33	7523,70
Metal	282,01	17,60	4963,38	0,70	197,41	369,33	1.760.215,33
2018							
Papel	1595,58	4,98	7945,99	1,47	2345,50	411,49	2304543,90
Plástico	1323,86	5,28	6989,98	0,83	1098,80	411,49	2424160,42
Vidro	308,23	4,83	1488,75	4,19	1291,48	411,49	81173,48
Metal	575,15	17,60	10122,64	0,70	402,61	411,49	3.999.697,20
Total							25.255.131,19

De maneira geral, é possível afirmar que a reciclagem dos materiais coletados pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa entre os anos de 2015 e 2018 economizou R\$25.255.131,19 para as indústrias, além dos benefícios ambientais oriundos desta prática.

Além da taxa de resíduos e da energia economizada existem benefícios indiretos provenientes da coleta seletiva, como a geração de empregos aos associados e a qualidade ambiental (devido a substituição de local de trabalho dos catadores que antes trabalhavam em situações insalubres em lixões), por exemplo que possuem relevante importância no programa de coleta seletiva. Optou-se por não adotar estes benefícios sociais devido a sua complexa quantificação, fugindo dos objetivos propostos no presente trabalho.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo possibilitou a realização da análise ambiental e econômica do ciclo de vida do Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa, elencando seus impactos ambientais, custos e benefícios, contribuindo para visualização do sistema como um todo e identificando possíveis melhoras para o mesmo.

No âmbito ambiental, considerando-se o presente estudo, pode-se afirmar que entre as emissões geradas pelo programa de coleta seletiva de João Pessoa no período compreendido entre 2015 e 2018, tem-se que maioria delas é proveniente da categoria de impacto aquecimento global (99,53%) e eutrofização (0,36%). Além disso, as etapas que mais geraram impactos foram atravessadores e aterro sanitário, sobretudo os processos de transporte e funcionamento do aterro sanitário. A única etapa que produziu benefícios líquidos foi empresa, devido aos processos de reciclagem nela inserido. Porém, em todas as análises realizadas os impactos foram superiores aos benefícios gerados.

No contexto geral, o presente trabalho constatou que do ponto de vista ambiental as principais soluções para os impactos identificados estão relacionados a melhorias nos transportes e funcionamento do aterro. Para os transportes, sugere-se como medidas a otimização da coleta seletiva, o aumento da quantidade de resíduo reciclável coletado, tendo em vista que a cidade tem 21% dos resíduos gerados como potencialmente recicláveis, e o encurtamento das distancias percorridas através da adoção de empresas e atravessadores que estejam situadas mais próximas dos núcleos de coleta seletiva, já que os maiores impactos foram verificados na etapa “Atravessadores” que abarca estes trechos. Além disso, quando possível, deve-se estimular a venda direta entre núcleos e empresas, sendo esta medida fundamental para a valorização dos catadores e redução dos transportes realizados pelos atravessadores. Como medida a ser tomada para melhoria do funcionamento do aterro, sugere-se o aproveitamento energético e a otimização de funcionamento do mesmo. Recomenda-se um posterior estudo detalhado destas duas etapas.

É relevante destacar que atualmente o ASMJP está iniciando práticas como o aproveitamento de gás e reuso de água, representando grandes avanços no âmbito ambiental. Tais implantações não foram consideradas no presente estudo, pois no período analisado, 2015 a 2018, tais práticas não haviam sido implantadas.

Além disso, para desempenho do âmbito ambiental no presente trabalho, foram encontradas dificuldades na busca de base de dados que se adequem a realidade do Brasil, fazendo-se necessário a adaptação de dados de outros países.

Assim, é possível concluir que caso o quantitativo de resíduos coletados fosse maior, os benefícios líquidos oriundos do processo de reciclagem também seriam. Nesse contexto, a tomada de decisões que colaborem com uma melhor gestão de resíduos sólidos e correta destinação dos recicláveis tornar-se-ia eficiente nesta temática.

Através dos resultados econômicos notou-se que os maiores custos com o Programa de Coleta Seletiva de João Pessoa são advindos de Mão-de-Obra e Transporte, correspondendo estes a 96% dos custos analisados. Quanto aos benefícios, a venda de recicláveis é responsável pela maior parte destes (87%).

Para todas as relações consideradas, os benefícios da coleta seletiva superaram os custos gerados pela mesma, demonstrando a viabilidade econômica do programa de coleta seletiva de João Pessoa.

No âmbito econômico, a coleta seletiva de João Pessoa, mesmo com o pequeno quantitativo coletado, possui resultados favoráveis, sendo sua receita superior as suas despesas. Entretanto medidas que busquem a redução dos seus custos e maior captação de recicláveis a serem atendidos pelo programa, tornam-se essenciais para a melhoria nas remunerações e qualidade de vida dos associados e ganhos monetários para a prefeitura de João Pessoa, implicando assim em ganhos para o ambiente, a infraestrutura, a economia e a sociedade residente na capital paraibana.

Para estudos futuros, sugere-se a realização de uma análise econômica minuciosa do sistema de coleta seletiva de João Pessoa, a qual considere outros agentes além da EMLUR, como atravessadores e empresas. Além disso, sugere-se uma posterior avaliação dos impactos oriundos da gestão de resíduos sólidos com e sem a coleta seletiva. Um estudo de ACV incluindo a coleta seletiva e o aproveitamento do gás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, como também um estudo de quanto representa economicamente a não emissão das referidas cargas encontradas no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. São Paulo. Disponível em < <https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita> > Acesso em 20 de jan de 2020.

AL-KHATIB, I. A.; MONOU, M.; ZAHRA, A. S. F. A.; SHAHEEN, H. Q.; KASSINOS, D. (2010). **Solid Waste Characterization, Quantification and Management Practices in Developing Countries. A case study: Nablus District – Palestine.** Journal of Environmental Management, v. 91, p. 1131–1138.

AMINI, A.; APONTE-MORALES, V.; WANG, M.; DILBECK, M.; LAHAV, O.; ZHANG, Q.; CUNNINGHAM, J. A.; ERGAS, S. J. (2017) **Cost-effective Treatment of Swine Wastes Through Recovery of Energy and Nutrientes.** Journal of Waste Management, v. 69, p. 508–517.

ARAÚJO, J. B. **A Nova Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: da reparação à prevenção.** 2014. 172f. Dissertação (Mestrado) – PUC Goiás, Goiânia, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017.** São Paulo: Associação Brasileira de Empresas Público e Resíduos Especiais, 2017. Disponível em: < <http://abrelpe.org.br/download/2470> >. Acesso em: 15 de julho de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 15686-5:2017: Buildings and constructed assets -- Service life planning-- Part 5: Life-cycle costing. 2017.

BONOLI, A.; DI FUSCO, E; ZANNI, S.; LAURIOLA, I.; CIRIELLO, V.; DI FEDERICO, V. (2019). **Green Smart Technology for Water (GST4Water): LifeCycle Analysis of Urban Water Consumption.** Water, v. 11, 389, p. 1-12.

BORZĘCKA, M.; ŻYŁOWSKA, K.; RUSSO, G.; PISANELLI, A.; FREIRE, F. (2018). **Life Cycle Assessment of Olive Cultivation in Italy: comparison of three management systems.** Paper prepared for presentation for the 167th EAAE Seminar.

BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. (2010). **Environmental Assessment of Alternative Municipal Solid Waste Management Strategies. A Spanish Case Study.** Waste Management, v. 30, p. 2383-2395.

BRAGA, B. B.; DE CARVALHO, T. R. A.; BROSINSKY, A.; FOERSTER, S.; MEDEIROS, P. H. A. (2019). **From Waste to Resource: Cost-benefit Analysis of Reservoir Sediment Reuse for Soil Fertilization in a Semiarid Catchment.** Science of The Total Environment, v. 670, p. 158–169.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União 02 de ago. 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Cadastro Geral de Empregados e Desempregados - CAGED. Brasília: MTE, 2019. Disponível em: <<https://www.salario.com.br/profissao/motorista-de-caminhao-cbo-782510/>>. Acesso em: jan. 2020.

BRIOSCHI, P. F.; COSTA, A. F.; GALEANO, E. A. V.; BÁRBARA, W. de Freitas, P.; ZANUNCIO Júnior, J. S.; FORNAZIER, M. J. (2019) **Análise de Custo e Viabilidade Econômica do Café Arábica em Venda Nova do Imigrante, ES**. Revista Brasileira de Gestão e Engenharia, n. 07, p. 127-136.

CARVALHO, M., SEGUNDO, V. B. D. S., MEDEIROS, M. G. D., SANTOS, N. A. D., & JUNIOR, L. M. C. (2019). **Carbon Footprint of the Generation of Bioelectricity from Sugarcane Bagasse in a Sugar and Ethanol Industry**. International Journal of Global Warming, v. 17, n. 3, p. 235-251.

CHESTER, D. J. (2019). **A Life Cycle Analysis of DOD Expeditionary Waste Management Practices Using Simapro**.

CIROTH, A.; HUPPES, G.; KLÖPFER, W.; RÜDENAUER, I.; STEEN, B.; SWARR, T. (2008) **Environmental Life Cycle Costing**. 1 ed. Florida: Editora SETAC Books, 2008.

CLIFT, R.; DOIG, A.; FINNVEDEN, G. (2000). **The Application of Life Cycle Assessment to Integrated Waste Management**. Part 1. Methodology, Trans. Ichem E 78 (B), p. 279–287.

COLTRO, L. (2007). **Avaliação do Ciclo de Vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA.

COLVERO, D. A.; CARVALHO, E. H.; PFEIFFER, S. C.; GOMES, A. P. (2017). **Avaliação da geração de resíduos sólidos urbanos no estado de Goiás, Brasil: análise estatística de dados**. Eng. Sanit. Ambient., v. 22, n. 5, p. 931-941.

COLVERO, D. A.; RAMALHO, J.; GOMES, A. P. D.; de MATOS, M. A. A.; TARELHO, L. A. C. (2020). **Economic Analysis of a Shared Municipal Solid Waste Management Facility in a Metropolitan Region**. Waste Management, v. 102, p. 823-837.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CEMPRE Review 2013**. Disponível em: < <http://cempre.org.br/upload/CEMPRE-Review2013.pdf>>. Acessado em: out.2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CEMPRE Review 2019**. Disponível em: < <http://cempre.org.br/upload/CEMPRE-Review2019.pdf>>. Acessado em: out.2019.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM – CEMPRE. **CICLOSOFT 2018**. Disponível: <<http://cempre.org.br/ciclosoft/id/9>>. Acessado em: jan. 2020.

COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; CASTRO, C. P.; COELHO, J. V.; CLEMENTINO, G. E. S.; CUNHA, L. M. (2016). **Impactos ambientais de lixo a céu aberto no Município de Cristalândia, Estado do Piauí, Nordeste do Brasil**. Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 3, n. 4, p. 79-86.

CURRAN, M.A. (2006). **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. National Research Management Laboratory, United States Environmental Protection Agency.

DANGI, M. B.; PRETZ, C. R.; URYNOWICZ, M. A.; GEROWB, K. G.; REDDY, J.M. (2011). **Municipal Solid Waste Generation in Kathmandu, Nepal**. Journal of Environmental Management, v. 92, p. 240-249.

DANIELS, S.; MARTENSEN, H.; SCHOETERS, A.; VAN DEN BERGHE, W.; PAPADIMITRIOU, E.; ZIAKOPOULOS, A.; KAISER, S.; AIGNER-BREUSS, E.; SOTEROPOULOS, A.; WIJNEN, W.; WEIJERMARS, W.; CARNIS, L.; ELVIK, R.; PEREZ, O. M. (2019). **A Systematic Cost-Benefit Analysis of 29 Road Safety Measures**. Accident Analysis & Prevention, v. 133, p. 1-13.

DANTAS, M. W. A. **A Coleta Seletiva na Cidade do Natal-RN: uma Avaliação Utilizando Índice de Sustentabilidade**. 2019. 29 f. Mestrado Profissional (Ciências Ambientais, na linha de pesquisa em Saneamento Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

DELGADO, D. B. M.; CARVALHO, M.; COELHO JUNIOR, L. M.; CHACARTEGUI, R. (2018). **Analysis of Biomass-fired Boilers in a Polygeneration System for a Hospital**. Frontiers in Management Research, v. 2, n. 1, p. 1-13.

DENAFAS, G.; RUZGAS, T.; MARTUZEVIČIUS, D.; SERGEY, S.; HOFFMANN, M.; MYKHAYLENKO, V.; OGORODNIK, S.; ROMANOV, M.; NEGULIAEVA, E.; CHUSOV, A.; TURKADZE, T.; BOCHOIDZE, I.; LUDWI, C. (2014). **Seasonal Variation of Municipal Solid Waste Generation and Composition in Four East European Cities**. Resources, Conservation and Recycling, v. 89, p. 22–30.

DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. (2015). **Resíduos Sólidos no Brasil: Contexto, Lacunas e Tendências**. Eng. Sanit. Ambient., v. 20, n.4, p. 685–698.

DUTRA, R. M. S.; YAMANE, L. H.; SIMAN, R. R. (2018). **Influence of the Expansion of the Selective Collection in the Sorting Infrastructure of Waste Pickers' Organizations: A case study of 16 Brazilian cities**. Waste Management, v. 77, p. 50–58.

DWAIKAT, L. N.; ALI, K. N. (2018). **Green buildings life cycle cost analysis and life cycle budget development: Practical applications**. Journal of Building Engineering, v. 18, p. 303–311.

EMAMI, N.; HEINONEN, J.; MARTEINSSON, B.; SÄYNÄJOKI, A.; JUNNONEN, J. M.; LAINE, J.; JUNNILA, S. (2019). **A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies**. Buildings, v. 9, p. 1-20.

EMLUR – Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana. **Relatório de Gastos Anual 2018**. João Pessoa, 2018.

FERREIRA, S.; CABRAL, M.; da CRUZ, N. F.; SIMÕES, P.; MARQUES, R. C. **Life Cycle Assessment of Packaging Waste Recycling System in Portugal**. Waste Management, v. 34, p. 1725-1735.

FINKBEINER, M.; SCHAU, E. M.; LEHMANN, A.; TRAVERSO, M. (2010). **Towards on Life Cycle Sustainability Assessment**. Sustainability, v. 2, p. 3309-3322.

FULLANA, P.; PUIG, R.. (1997). **El análisis del ciclo de vida**. Barcelona: Rubbes, p.50.

GARCIA, H. R. M. **Avaliação do Ciclo de Vida Socioambiental do Programa de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares do Município de João Pessoa/PB, Brasil. Estudo de caso: núcleo do Bessa**. 2016. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2016.

GARCIA, H.R.M, NÓBREGA, C. C, BOVEA, M. D IBÁÑEZ-FORES, V, CARVALHO (2016a). **Impactos Ambientales Asociados a la Recogida Selectiva de Papel y Cartón en la Ciudad de João Pessoa, Brasil. Estudio de caso: Núcleo Bessa**. In: Congreso International de Refrigeración, Climatización y Energia Renovable - RECICLEN 2016. Décimo. Anais. Havana/Cuba.

GARCIA, H. R. M.; NÓBREGA, C.C.; BOVEA, M. D.; SILVA, C. M.; LINS, R. B. (2015). **Avaliação do Ciclo de Vida Aplicada à Coleta Seletiva no Município de João Pessoa (PB) – Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 28. Anais. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

GARCIA, H.R.M, NÓBREGA, C. C, IBÁÑEZ-FORES, V, CARVALHO, M, LINS, R.B. e VIRGOLINO, J.L.F. (2016b). **Avaliação do Ciclo de Vida da Coleta Seletiva do Plástico: estudo de caso no núcleo do Bessa, João Pessoa/PB**. In: Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida. Quinto. Anais. Fortaleza/CE-Brasil.

GIGLI, S.; LANDI, D.; GERMANI, M. (2019). **Cost-Benefit Analysis of a Circular Economy Project: A study on a recycling system for end-of-life tyres**. Journal of Cleaner Production, v. 229, p. 680-694.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; VIEIRA, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. (2016). **SimaPro Tutorial**, versão 5.3, PRÉ.

GOMES, H.; NÓBREGA, C. C. (2005). **Economic Viability Study of a Separate Household Waste Collection in a Developing Country**. J Mater Cycles Waste Manag, v. 7, p. 116–123.

GRECO, G.; ALLEGRI, M.; DEL LUNGO, C.; SAVELLINI, P. G.; GABELLINI, L. (2015). **Drivers of Solid Waste Collection Costs: Empirical Evidence from Italy**. Journal of Cleaner Production, v. 106, p. 364–371.

GU, B., LI, Y., JIN, D., YI, S., GU, A., BU, X.Y., ZHOU, H., HE, S., CHENG, R., JIA, R. (2018). **Quantizing, Recognizing, and Characterizing the Recycling Potential of Recyclable Waste in China: A field tracking study of Suzhou.** Journal of Cleaner Production, v. 201, p. 948-957.

HARAGUCHI, M.; SIDDIQI, A.; NARAYANAMURTI, V. (2019). **Stochastic Cost-Benefit Analysis of Urban Waste-to-Energy Systems.** Journal of Cleaner Production, v. 224, p. 751-765.

HE, P., FENG, H., HU, G., HEWAGE, K., ACHARI, G., WANG, C., & SADIQ, R. (2019). **Life cycle cost analysis for recycling high-tech minerals from waste mobile phones in China.** Journal of Cleaner Production, v. 251.

HOU, P.; XU, Y.; TAIEBAT, M.; LASTOSKIE, C.; MILLER, S. A.; XU, M. (2018). **Life Cycle Assessment of End-of-life Treatments for Plastic Film Waste.** Journal of Cleaner Production, v. 201, p. 1052-1060.

HUNG, N. V.; MIGO, M. V.; QUILLOY, R.; CHIVENG, P.; GUMMERT, M. (2020). **Life Cycle Assessment Applied in Rice Production and Residue Management.** In: GUMMERT, M.; HUNG, N. V.; CHIVENG, P.; DOUTHWAITE, B. (org.). **Sustainable Rice Straw Management.** Editora Springer Open, 2020, p. 161-174.

IBÁÑEZ-FORÉS V.; BOVEA M. D. E.; NÓBREGA, C.C.; GARCÍA, H. R. M; LINS, R. B. (2017a). **Temporal Evolution of the Environmental Performance of Implementing Selective Collection in Municipal Waste Management Systems in Developing Countries: A Brazilian Case Study.** Waste Management, v. 72, p. 65–77.

IBÁÑEZ-FORES, V.; GARCIA, H.R.M; LINS, R.B; NÓBREGA, C.C.; BOVEA, M.D.E. (2017b). **Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida de Sistemas de Gestión de Resíduos em Países em Desarrollo. Caso de Aplicación Brasil.** In: Simposio Iberoamericano en Ingeniería de Resíduos, 7, Santander/España. Disponível em: <http://www.redisa.unican.es/doc/actassimposio.pdf>. Acessado em: 07 de julho de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Demográfico, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Estimativa Censo Demográfico, 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Relatório de pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos** (2010). Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ipea_253.pdf >. Acessado em: out.2019.

KHANDELWAL, H.; DHAR, H.; THALLA, A. K.; KUMAR, S. (2018). **Application of Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management: A Worldwide Critical Review.** Journal of Cleaner Production, v. 209, p. 630-654.

KLOEPFFER, W. (2008). **Life Cycle Sustainability Assessment of Products**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 13, n. 2, p. 89-95.

LAURENT, A.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; BAKAS, I.; NIERO, M.; GENTIL, E.; CHRISTENSEN, T. H.; HAUSCHILD, M. Z. (2014). **Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: Methodological guidance for a better practice**. Waste Management, v. 34, p. 589–606.

LEE, E. K.; ZHANG, X.; ADLER, P. R.; KLEPPEL, G. S., ROMEIKO, X. X. (2020). **Spatially and Temporally Explicit Life Cycle Global Warming, Eutrophication, and Acidification Impacts From Corn Production in the U.S. Midwest**. Journal of Cleaner Production, v. 242.

LIMA, P. D. M.; OLIVO, F.; PAULO, P. L.; SCHALCH, V.; CIMPAN, C. (2019). **Life Cycle Assessment of Prospective MSW Management Based on Integrated Management Planning in Campo Grande, Brazil**. Waste Management, v. 90, p. 59-71.

LONGO, G. L.; NUNES, A. O.; BARRIOS, C. C.; PAIVA, J. M. F.; MORIS, V. A. S. (2019). **Life Cycle Cost Analysis for Recycling High-tech Minerals From Waste Mobile Phones in China**. Rev. Virtual Quim., v. 11, n. 1, p. 190-209.

MA, J.; CHEN, X.; SU, W. (2014). **Environmental Evaluation for Three Typical MSW Incineration Based on Life Cycle Assessment** Advanced Materials Research, v. 851, p. 1360-1363.

MAGRINI, A. **Política e gestão ambiental: conceitos e instrumentos**. Revista Brasileira de Energia, v. 8, n. 2, 2004.

MARTINS, W. A. **Avaliação do Ciclo de Vida do Programa de Coleta Seletiva do Município de João Pessoa- PB, Brasil**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MATERN, S. V. (2002). Life Cycle Cost LCC: a new approach to materials selection: engineering and economy. Avesta Sheffield, Information 9763.

MEIKANDAAN, T. P.; HEMAPRIYA, M. (2018). **Cost Benefit Analysis of Accident Prevention in Construction Industry**. International Journal of Pure and Applied Mathematics, v. 119, n. 12, p. 8831-8842.

MELQUÍADES, T. F.; CARVALHO, M.; ARAÚJO, Y. R. V.; COELHO JUNIOR, L. M. (2019). **Pegada de Carbono Associada ao Processo de Pasteurização de Sorvetes**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v. 12, n. 2, p. 609-629.

MENEU, M. G. **Evaluación Ambiental del Sistema de Gestión de Residuos Domiciliarios de João Pessoa (Brasil). Escenario Actual y Escenarios Alternativos de Mejora**. 2019. 156f. Dissertação (Master en Ingeniería Industrial) – Universitat Jaume I, Castelló de la Plana, Espanha, 2019.

MENIKPURA, S. N. M., SANG-ARUN, J., BENGTSSON, M. (2016). **Assessment of Environmental and Economic Performance of Waste-to-Energy Facilities in Thai Cities**. *Renewable Energy*, v. 86, p. 576-584.

MIEZAH, K.; OBIRI-DANSO, K.; KADAR, Z.; FEI-BAFFOE, B.; MENSAH, M. Y. (2015). **Municipal Solid Waste Characterization and Quantification as a Measure Towards Effective Waste Management in Ghana**. *Waste Management*, v. 46, p. 15–27.

MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa. Diagnóstico. 2014. Disponível em: <<http://issuu.com/pmjponline/docs/diagnostico>>. Acessado em: 01 de dezembro de 2018.

NABAVI-PELESARAEI, A.; BAYAT, R.; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; AFRASYABI, H.; BERRADA, A. (2017). **Prognostication of Energy Use and Environmental Impacts for Recycle System of Municipal Solid Waste Management**. *Journal of Cleaner Production*, v. 154, p. 602–613.

NÓBREGA, C. C. **Viabilidade Econômica, com Valorização Ambiental e Social, de Sistemas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Domiciliares – Estudo de Caso: João Pessoa/PB**. 2003. 176 f. Tese (Doutorado Temático em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

NÓBREGA, C. C.; CARVALHO, M.; GARCIA, H. R. M.; FORÉS, V. I.; BOVEA, M. D. (2019). **Avaliação do ciclo de vida da coleta seletiva de papel e papelão no núcleo do Bessa, município de João Pessoa (PB), Brasil**. *Eng. Sanit. Ambient.*, v.24, n.5, p. 875-886.

OLIVEIRA, G. D., NÓBREGA, C. C., SANTIAGO, I. M. N. FLAIN, P. C., LINS, R. B. **Análise da Gestão de uma Associação de Catadores de Materiais Recicláveis no Município de João Pessoa/PB**. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 10, 2019, João Pessoa. Anais. João Pessoa: Instituto Venturi, 2019, p. 9. Disponível em: <<http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/1680/951>> Acesso em: 01 fev. 2020.

OLIVEIRA, V.; SOUSA, V.; VAZ, J. M.; DIAS-FERREIRA, C. (2017). **Model for The Separate Collection of Packaging Waste in Portuguese Low-Performing Recycling Regions**. *Journal of Environmental Management*, v. 216, p. 13-24.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. (2018). **Impactos Ambientais e Formulação de Ração para Frango de Corte**. *R. Latino-amer. em Aval. do Ciclo de Vida, Edição Especial*, n. 2, p. 97-109.

PAES, M. X., ARAUJO DE MEDEIROS, G., MANCINI, S. D., BORTOLETO, A. P., Puppim de Oliveira, J. A., & Kulay, L. A. (2020). **Municipal Solid Waste Management: Integrated Analysis of Environmental and Economic Indicators Based on Life Cycle Assessment**. *Journal of Cleaner Production*, v. 254.

PETIT-BOIX, A.; LLORACH-MASSANA, P.; SANJUAN-DELMÁS, D.; SIERRA-PÉREZ, J.; VINYES, E.; GABARRELL, X.; JOAN RIERADEVALL, J.; SANYÉ-MENGUAL, E. (2017). **Application of Life Cycle Thinking Towards Sustainable Cities: A Review**. *Journal of Cleaner Production*, v. 166, p. 939–951.

PIERAGOSTINI, C.; MUSSAT M. C. I.; AGUIRRE, P. (2012). **On Process Optimization Considering LCA Methodology**. Journal of Environmental Management, v.96, p. 46-54.

PIMENTEL, C. H. L. **A Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de João Pessoa/PB - À Luz das Rotas Tecnológicas**. 2017. 284 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

PIRES, A.; SARGEDAS, J.; MIGUEL, M.; PINA, J.; MARTINHO, G. (2017). **A Case Study of Packaging Waste Collection Systems in Portugal – Part II: Environmental and Economic Analysis**. Waste Management, v. 61, p. 108–116.

PIRES, L. R.; SINGH, A. S.; VALADÃO JUNIOR, V. M. (2019). **O Programa de Coleta Seletiva da Cidade de Uberlândia-MG: uma análise do seu desempenho e nível de sustentabilidade**. Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo, v. 4, n. 2, p. 250-278.

PRÉ CONSULTANTS. SimaPro [software]: versão PhD 9.0.0.49, 2016.

RESENDE, J. D.; NOLASCO, M. A.; PACCA, S. A. (2019). **Life Cycle Assessment and Costing of Wastewater Treatment Systems Coupled to Constructed Wetlands**. Resources, Conservation and Recycling, v. 148, p. 170-177.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. (2007). **Panorama da coleta seletiva no Brasil: desafios e perspectivas a partir de três estudos de caso**. Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente, v. 2, n. 4, p. 1-18.

ROGNONI, C.; ARMENI, P.; TARRICONE, R.; DONIN, G. (2020). **Cost–Benefit Analysis in Health Care: the Case of Bariatric Surgery Compared With Diet**. Clinical Therapeutics, v. 42, p. 60-75.

ROSADO, L. P.; PENTEADO, C. S. G. (2019). **Avaliação do ciclo de vida do Sistema Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil da Região Metropolitana de Campinas**. Eng. Sanit. Ambient., v. 24, n.1, p. 71-82.

ROZANSKI, S.; VIVIAN, D. R.; KOWALSKI, L. H.; ROCHADELLI, R.; FREITAS, J. A.; GARCEZ NETO, A. F.; FERNANDES, S. R. (2019). **The Economic Viability of the Inclusion of Urea in the Ration for Feedlot Lambs**. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v.20, p. 01 – 12.

SANTOS, A. V.; PIRES, E. L. S. (2017). **Aspectos Econômicos e Sociais da Reciclagem: um estudo aplicado em uma cooperativa de catadores em Vitória da Conquista-BA**. Revista Formação (ONLINE), v. 1, n. 25, p. 59-79.

SILVA, S. S.; ZAPPAROLI, I. D. (2017). **Análise Ambiental do Ciclo de Vida do Etanol Combustível**. Economia & Região, Londrina (PR), v.5, n.1, p.129-155.

SIMAPRO, Life cycle assessment software, 2019. Disponível em: <<https://network.simapro.com/pre/>>. Acessado em 28 de dezembro de 2019.

SIRITORN, K.; PERMPOONWIWAT, C. K. (2019). **Effects of Area Characteristics and Municipal Waste Collection Fees on Household Waste Generation**. Journal of Material Cycles and Waste Management, v. 22, p. 89–96.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos**. 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos/diagnostico-rs-2018>>. Acesso em: jan. 2020.

SOUSA, V.; DIAS-FERREIRA, C.; VAZ, J. M.; MEIRELES, I. (2018). **Life-cycle Cost as Basis to Optimize Waste Collection in Space and Time: A Methodology for Obtaining a Detailed Cost Breakdown Structure**. Waste Management & Research, v. 36, n. 9, p. 788–799.

TESKE, F. F.; TEJADAS, B. E.; MAESTRI, A. B.; WARTCHOW, D. **Avaliação dos Custos dos Serviços do Manejo de Resíduos Sólidos Domiciliares de 21 Municípios do Estado do Rio Grande do Sul**. In: 48º Congresso Nacional de Saneamento da ASSEMAE, 2018, Fortaleza-CE. 2018.

TRENTIN, A. W. S. **Diagnóstico e Avaliação do Ciclo de Vida do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos de Santa Cruz do Sul- RS**. 2015.114f. Dissertação (Mestrado em Gestão e tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, Santa Cruz do Sul, 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP)/ SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY (SETAC). **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. Life Cycle Initiative, 2009.

WOLF, M. A. (2014). **National LCA Databases: status and ways towards interoperability**. Maki Consulting: Berlin, 2014.

YADAV, P.; SAMADDER, S. R. (2018). **A Critical Review of the Life Cycle Assessment Studies on Solid Waste Management in Asian Countries**. Journal of Cleaner Production, v. 185, p. 492-515.

YAY, A.S.E. (2015). **Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya**. Journal of Cleaner Production, v. 94, p.284 - 293.

YELLMAN, M. A.; PETERSON, C.; MCCOY, M. A.; STEPHENS-STIDHAM, S.; CATON, E.; BARNARD, J. J.; PADGETT JR, T. O.; FLORENCE, C.; ISTRE, G. R. (2017). **Preventing Deaths and Injuries from Housefires: a Cost–Benefit Analysis of a Community-basedsmoke Alarm Installation Programme**. Inj Prev 2018, v. 24, p. 12–18.

ZAMAN, A. U. (2013). **Life Cycle Assessment of Pyrolysis–Gasification as an Emerging Municipal Solid Waste Treatment Technology**. International Journal of Environmental Science and Technology, v. 10, p. 1029–1038.

ZHOU, J.; CHANG, V. W.C.; FANE, A. G. (2011). **Environmental Life Cycle Assessment of Reverse Osmosis Desalination: the influence of different life cycle impact assessment methods on the characterization results.** Desalination, v. 283, n.1, p. 227–236.

APÊNDICE A

**PROCESSOS ADOTADOS PELAS ETAPAS ANALISADAS PELA ACV DA COLETA
SELETIVA DE JOÃO PESSOA.**

Processos da biblioteca Ecoinvent 3.5 (2018) adotados para cada uma das etapas etapas da coleta seletiva de João Pessoa nos ano de 2015 a 2018.

Etapas	Base de dados Ecoinvent
Coleta Seletiva (CS)	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro3 {RoW}
Coleta Regular (CR)	Transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, euro3 {RoW}
Núcleos (N)	Electricity, low voltage {BR} Tap water {RoW} ARAME
Atravessadores (A)	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro3 {RoW} Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, euro3 {RoW}
Central de Triagem (CT)	Electricity, low voltage {BR} Tap water {RoW} ARAME
Aterro Sanitário (AS)	Electricity, low voltage {BR} Transport, tractor and trailer, agricultural {GLO} Municipal solid waste {BR} treatment of, sanitary landfill
Empresas (E)	Paper (waste treatment) {GLO} recycling of paper Mixed plastics (waste treatment) {GLO} recycling of mixed plastics Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron Packaging glass, white (waste treatment) {GLO} recycling of packaging glass,

APÊNDICE B

**EMISSIONES DAS ETAPAS DE COLETA SELETIVA DE JOÃO PESSOA PARA OS
ANOS DE 2015, 2016, 2017 E 2018.**

Emissões provenientes das etapas da coleta seletiva de João Pessoa no ano de 2015.

Categoria de Impacto	Unidade	CS	CR	N	A	CT	AS	E
Aquecimento Global	kg CO2 eq	7,12E+03	1,18E+06	1,00E+04	2,67E+07	2,52E+04	4,85E+04	-3,65E+06
Destrução da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,23E-03	2,11E-01	9,76E-04	4,62E+00	2,10E-03	5,43E-03	-1,69E-01
Oxidação Fotoquímica	kg C2H4 eq	1,32E+00	2,14E+02	3,04E+00	4,95E+03	6,15E+00	1,69E+01	-1,36E+03
Acidificação	kg SO2 eq	3,38E+01	5,75E+03	4,06E+01	1,27E+05	1,05E+02	2,81E+02	-1,71E+04
Eutrofização	kg PO4--- eq	8,50E+00	1,40E+03	1,47E+01	3,19E+04	3,40E+01	8,84E+01	-3,95E+03

Emissões provenientes das etapas da coleta seletiva de João Pessoa no ano de 2016.

Categoria de Impacto	Unidade	CS	CR	N	A	CT	AS	E
Aquecimento Global	kg CO2 eq	4,51E+03	1,18E+06	8,72E+03	2,74E+07	3,49E+04	4,84E+04	-3,19E+06
Destrução da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	7,79E-04	2,11E-01	9,57E-04	4,73E+00	2,90E-03	5,41E-03	-1,85E-01
Oxidação Fotoquímica	kg C2H4 eq	8,34E-01	2,14E+02	2,43E+00	5,07E+03	8,49E+00	1,69E+01	-1,16E+03
Acidificação	kg SO2 eq	2,14E+01	5,75E+03	3,60E+01	1,30E+05	1,45E+02	2,80E+02	-1,64E+04
Eutrofização	kg PO4--- eq	5,37E+00	1,40E+03	1,29E+01	3,26E+04	4,70E+01	8,82E+01	-4,34E+03

Emissões provenientes das etapas da coleta seletiva de João Pessoa no ano de 2017.

Categoria de Impacto	Unidade	CS	CR	N	A	CT	AS	E
Aquecimento Global	kg CO2 eq	5,33E+03	1,17E+06	8,47E+03	2,98E+07	3,65E+04	4,81E+04	-4,26E+06
Destrução da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	9,22E-04	2,10E-01	9,58E-04	5,15E+00	3,04E-03	5,38E-03	-1,51E-01
Oxidação Fotoquímica	kg C2H4 eq	9,86E-01	2,13E+02	2,50E+00	5,51E+03	8,90E+00	1,68E+01	-1,44E+03
Acidificação	kg SO2 eq	2,53E+01	5,72E+03	3,46E+01	1,41E+05	1,52E+02	2,78E+02	-1,81E+04
Eutrofização	kg PO4--- eq	6,36E+00	1,39E+03	1,28E+01	3,55E+04	4,92E+01	8,76E+01	-3,80E+03

Emissões provenientes das etapas da coleta seletiva de João Pessoa no ano de 2018.

Categoria de Impacto	Unidade	CS	CR	N	A	CT	AS	E
Aquecimento Global	kg CO2 eq	8,01E+03	1,23E+06	8,81E+03	3,36E+07	3,47E+04	5,05E+04	-4,74E+06
Destrução da Camada de Ozônio	kg CFC-11 eq	1,39E-03	2,20E-01	8,34E-04	5,80E+00	2,88E-03	5,65E-03	-2,12E-01
Oxidação Fotoquímica	kg C2H4 eq	1,48E+00	2,23E+02	2,90E+00	6,21E+03	8,44E+00	1,76E+01	-1,79E+03
Acidificação	kg SO2 eq	3,81E+01	5,99E+03	3,49E+01	1,59E+05	1,44E+02	2,92E+02	-2,20E+04
Eutrofização	kg PO4--- eq	9,56E+00	1,46E+03	1,31E+01	4,00E+04	4,67E+01	9,20E+01	-4,91E+03