



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS:
ESTUDO DE CASO DO NÚCLEO BAIRRO DOS ESTADOS DO
PROGRAMA DE COLETA SELETIVA DO MUNICÍPIO DE JOÃO
PESSOA/PB, BRASIL

CINTHIA BOTELHO DE BARROS

João Pessoa - PB
Junho de 2017

CINTHIA BOTELHO DE BARROS

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO DE
CASO DO NÚCLEO BAIRRO DOS ESTADOS DO PROGRAMA DE COLETA
SELETIVA DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB, BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como pré-requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental pela
Universidade Federal da Paraíba.

Área de concentração: Saneamento Ambiental.

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

João Pessoa - PB

Junho de 2017

B748a Barros, Cinthia Botelho

Análise do Ciclo de Vida na Gestão de Resíduos Sólidos: estudo de caso do Núcleo do Bairro dos Estados do Programa de Coleta Seletiva do município de João Pessoa/PB, Brasil. / Cinthia Botelho de Barros - João Pessoa: UFPB, 2017.

57fl. il.:

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

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental Centro de Tecnologia / Campos I / Universidade Federal da Paraíba.

1. Gestão de Resíduos Sólidos 2. Coleta Seletiva 3. Análise de Ciclo de Vida I. Título.

BS/CT/UFPB

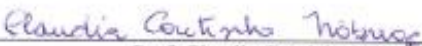
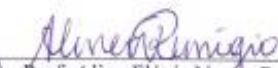
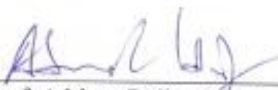
CDU: 2.d. 628.312.1 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

CINTHIA BOTELHO DE BARROS

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTUDO
DE CASO DO NÚCLEO BAIRRO DOS ESTADOS DO PROGRAMA DE COLETA
SELETIVA DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB, BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 31/05/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 Prof. Claudia Coutinho Nóbrega Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB	<u>APROVADA</u>
 Prof. Leonardo Vieira Soares UEPB	<u>APROVADA</u>
 Prof. Aline Flávia Nunes Remígio UEPB	<u>APROVADO</u>
 Prof. Adriano Rolim da Paz Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental	

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua fidelidade e cuidado constantes em minha vida.

A toda minha família, em especial aos meus pais, Francisco e Rosemeire, por todo amor, dedicação e consolo, por sempre valorizarem os estudos e serem exemplo de superação e união. A minha irmã, Carol, pela parceria de vida. A eles minha total admiração e gratidão.

A todos meus professores, pela contribuição com minha formação acadêmica, em especial a Professora Claudia, pela orientação neste trabalho, atenção e ensinamentos.

A Thiago, pela motivação, conselho, compreensão e carinho, essenciais para conclusão deste trabalho.

À turma 2011.1, em especial a Victória, Kenya, Moana, Vanessa, Manu, André, Cássio, Camila, Larissa, Marcela e Antero, por todo suporte, companheirismo e amizade construídos ao longo dessa caminhada.

Aos meus amigos do colégio, da igreja e do intercâmbio, que mesmo nas minhas ausências, fizeram-se sempre presentes.

À Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR, pela disponibilização dos dados necessários à realização deste trabalho e pela assistência nas visitas ao núcleo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, a todos os envolvidos no Projeto Universal nº 484357/2013-1 e a Universidade Jaime I (UJI), por terem sido primordiais no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Análise de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que permite avaliar o desempenho ambiental de um determinado produto ou serviço, a fim de se identificar oportunidades de melhorias e o impacto ambiental do sistema. O potencial poluidor dos resíduos sólidos varia de acordo com as técnicas adotadas nas etapas de seu gerenciamento e com a natureza do material. Este trabalho objetivou avaliar a gestão de resíduos sólidos domiciliares (RDO) do município de João Pessoa/PB, com foco na análise ambiental do programa de coleta seletiva no núcleo do Bairro dos Estados no ano de 2015. A análise foi realizada através da ferramenta ACV que processou dados coletados junto a Autarquia de Limpeza Urbana de João Pessoa (EMLUR) utilizando o software SimaPro 8.1. A ACV permitiu avaliar os impactos nas categorias de: eutrofização, acidificação, oxidação fotoquímica, redução da camada de ozônio e aquecimento global. Os resultados da ACV apontaram que o programa de coleta seletiva minimizou impactos nas categorias de eutrofização e acidificação. Porém, contribuiu para o agravamento do aquecimento global, oxidação fotoquímica e redução da camada de ozônio. Aumentar a quantidade de materiais recicláveis enviados à reciclagem, otimizar a logística do sistema e encontrar alternativas para a matéria orgânica enviada ao aterro sanitário, provavelmente, auxiliarão na diminuição dos referidos impactos ambientais. Portanto, os diversos atores da sociedade devem se comprometer no intuito de consolidar a prática da coleta seletiva, através da separação prévia dos resíduos na origem e do fortalecimento econômico das associações de catadores para se tornarem independentes do setor público e dos atravessadores.

Palavras-chaves: Gestão de Resíduos Sólidos, Coleta Seletiva, Análise de Ciclo de Vida.

ABSTRACT

Life Cycle Assessment (LCA) is a methodology that allows assessing the environmental behavior of a specific product or service, in order to identify the opportunities of improvement and its environmental impact. The waste polluting potential varies according to the techniques adopted in each stage of the management and the composition of the material. This study aimed to assess the management of municipal solid waste (MSW) in João Pessoa/PB-Brasil, focusing on the environmental analysis of selective collection program in Bairro dos Estados' material recovery facility in 2015. The analysis was based on LCA methodology which processed data collected from the Special Agency of Urban Sanitation (EMLUR) using the SimaPro 8.1 software. LCA enabled to assess the impacts on eutrophication, acidification, photochemical oxidation, depletion of the ozone layer and global warming. The results showed that the selective collection system has minimized impacts of eutrophication and acidification. However it contributes to the global warming, photochemical oxidation and depletion of the ozone layer. Increasing the amount of recyclable materials sent to recycling, optimizing the system logistic and finding alternatives for organic material sent to landfill will likely reduce the environmental impacts. Therefore, various segments of society should commit themselves to consolidate the practice of selective collection, by previously separating the waste at source and economically strengthening waste pickers association to be independent of public intervention or intermediaries' rules.

Keywords: Solid Waste Management, Selective Collection, Life Cycle Assessment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destino final dos resíduos sólidos no Brasil pela quantidade coletada (t/dia).....	20
Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares enviados ao aterro sanitário em 2016.....	24
Figura 3 - Exemplos de entradas e saídas de um sistema avaliado.	27
Figura 4 - Categorias <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> em abordagem combinada do método IMPACT 2002+....	29
Figura 5 - Núcleo da coleta seletiva do Bairro dos Estados no município de João Pessoa.	33
Figura 6 - Instalações internas do núcleo do Bairro dos Estados.	34
Figura 7- Etapas da Aplicação da ACV.	34
Figura 8 – Limites do sistema da Análise de Ciclo de Vida (ACV) aplicada à coleta seletiva dos resíduos sólidos domiciliares do Bairro dos Estados, Torre, Pedro Gondim, 13 de Maio e parte do Bairro dos Ipês e Mandacaru.....	36
Figura 9 – Resumo quantitativo do destino dos resíduos coletados nos bairros estudados.....	41
Figura 10– Emissões referentes à categoria de acidificação provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.	45
Figura 11 – Emissões referentes à categoria de eutrofização provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.	46
Figura 12– Emissões referentes à categoria de oxidação fotoquímica provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.	47
Figura 13 – Emissões referentes à categoria de redução da camada de ozônio provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.	49
Figura 14– Emissões referentes à categoria de aquecimento global provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição da matriz energética em 2010.	38
Tabela 2 - Composição final encaminhada ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.	41
Tabela 3- Quantidade de resíduos recicláveis vendidos aos atravessadores em 2015, em % e em toneladas.....	42
Tabela 4 - Distâncias e consumos no percurso núcleo do Bairro dos Estados aos atravessadores.	43
Tabela 5 - Distâncias e consumos no percurso da Central de Triagem aos atravessadores.	43
Tabela 6- Distâncias, consumo e localização das indústrias recicladoras.....	44
Tabela 7 – Consumo de energia (kWh/t) e água (m ³ /t) nas instalações.	44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Administração dos núcleos de coleta seletiva.....	25
Quadro 2- Unidades correspondentes às categorias de impacto	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AS	Aterro Sanitário
ASCARE	Associação de Catadores de Resíduos de João Pessoa
ASMJP	Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa
ASTRAMARE	Associação de Trabalhadores de Material Reciclável
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CI	Coleta Indiferenciada
CMLU	Código Municipal de Limpeza Urbana
CT	Central de Triagem
EMLUR	Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana
EPA	Environmental Protection Agency
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISO	Internacional Organization for Standardization
LCP	Lei de Consórcios Públicos
LDNSB	Lei de Diretrizes Nacionais para Saneamento Básico
MCTI	Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MRI	Midwest Research Institute
N	Núcleo
PEV	Posto de Entrega Voluntária
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNMC	Política Nacional sobre Mudanças do Clima
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PPP	Parcerias Público-Privadas
R	Reciclagem

RDO	Resíduos Sólidos Domiciliares
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
T	Transporte
TCU	Tribunal de Contas da União
UEPB	Universidade Estadual da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos	13
1.1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.2 Objetivos específicos.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos	15
2.2 Aspectos legais aplicáveis aos resíduos sólidos e aos seus impactos.....	15
2.2.1 Âmbito nacional	16
2.2.2 Âmbito estadual.....	18
2.2.3 Âmbito municipal.....	18
2.3 Geração, coleta e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	19
2.4 Coleta seletiva e reciclagem	20
2.5 Aspectos sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa.....	23
2.6 Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	26
2.6.1 Estudos de casos na gestão de resíduos sólidos	30
3. METODOLOGIA	33
3.1 Caracterização da área.....	33
3.2 Metodologia aplicada à Análise do Ciclo de Vida (ACV)	34
3.2.1 Definição do objetivo e escopo	35
3.2.2 Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	36
3.2.3 Avaliação dos impactos.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (IVC).....	40
4.2 Interpretação dos impactos.....	45
4.2.1 Acidificação	45
4.2.2 Eutrofização	46
4.2.3 Oxidação fotoquímica	47
4.2.4 Redução da camada de ozônio	48
4.2.5 Aquecimento global	49
5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS.....	57

1. INTRODUÇÃO

A urbanização, o crescimento populacional, a revolução tecnológica e o desenvolvimento econômico vêm provocando alterações no estilo de vida e nos modos de produção como também no incentivo ao consumo, fatores que contribuem diretamente para o aumento da produção de resíduos, tanto em quantidade como em diversidade. Estes resíduos possuem elevado potencial de poluição ao meio ambiente e risco à saúde humana, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a geração acontece em grande proporção (GOUVEIA, 2012).

A preocupação com relação à sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos está presente desde a Agenda 21, elaborada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (Eco-92), em 1992, a qual correlaciona o manejo ambientalmente adequado dos resíduos sólidos aos aspectos operacionais e a uma mudança cultural e social nos padrões de produção e consumo (ROMANI, 2014). No evento, houve o alerta de que os padrões insustentáveis de consumo e produção são causadores da deterioração do meio ambiente e do agravamento da pobreza e desigualdades, culminando em um desafio para o desenvolvimento sustentável (MMA, 2017).

A problemática dos resíduos sólidos gira em torno do seu extenso caminho percorrido, desde a geração, coleta, tratamento até a disposição final e, sua passagem por diversos atores envolvidos no trajeto, de forma que a utilização de ferramentas puramente técnicas não tem funcionado. Portanto, uma gestão integrada dos resíduos sólidos exige articulações entre os diversos níveis de poder existentes com os representantes da sociedade civil nas negociações para a formulação e implementação de políticas públicas, programas e projetos, que atuem em toda cadeia de manejo de resíduos sólidos (MESQUITA JÚNIOR, 2007).

Nesse contexto, diversas leis brasileiras vêm promover mudanças no cenário de gestão dos resíduos sólidos, sendo uma delas a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, que vem fomentar a não geração de resíduos, a eliminação das destinações inadequadas e a maximização do reaproveitamento do resíduo nas cadeias produtivas, de modo que só seja enviado aos aterros sanitários, o rejeito. Para tanto, estabelece-se, como instrumento da lei, a inserção dos catadores de materiais recicláveis em associações ou cooperativas formadas por pessoas de baixa renda.

A existência da coleta seletiva é uma grande aliada à gestão de resíduos sólidos, na medida em que aumenta a vida útil dos aterros sanitários, proporciona a inclusão social de uma classe muitas vezes excluídas do mercado de trabalho, diminui a pressão sobre o meio

ambiente frente à extração de matérias-primas e gera impacto econômico em diversas atividades. No entanto, o que se observa é uma série de fatores de ordem técnica, econômica e operacional que contribuem para que esta ferramenta ainda possua caráter incipiente nos municípios brasileiros (PINHEIRO e FRANCISCHETTO, 2016; BESEN et al, 2014).

Alguns planos nacionais estabeleceram metas a fim de acelerar esse processo, como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) e o Plano Nacional sobre Mudanças do Clima. Para o ano de 2015, a meta de redução de resíduos recicláveis secos dispostos em aterro era de 70% no viés favorável/legal e a meta de aumento da reciclagem era de 20% para contribuir na redução da emissão de gases, respectivamente. Porém, grande parte dos municípios ainda possui baixa abrangência de coleta seletiva formal e percentual de desvio de resíduos recicláveis encaminhados ao aterro muito inferior a essas metas (BESEN et al, 2014).

Tendo em vista a percepção da urgência de um eficiente modelo de gestão de resíduos sólidos, dos benefícios associados à coleta seletiva e da amplitude e das variáveis do seu sistema, buscam-se instrumentos que possam auxiliar na identificação de falhas e na melhoria desse cenário. A Environmental Protection Agency - EPA (2006) cita a Análise de Ciclo de Vida (ACV) com um recurso capaz de avaliar sistematicamente, sob o ponto de vista ambiental, uma cadeia de processos envolvidos em um produto ou sistema através da quantificação das descargas ambientais de cada etapa do ciclo de vida, avaliando-se os impactos nos ecossistemas e na saúde humana. Nesse sentido, estudos de ACV são estimulados tanto na PNRS como no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de João Pessoa para compreensão das inter-relações do sistema e seu impacto sobre o meio ambiente.

Diante disso, este trabalho se propõe a realizar uma análise ambiental do sistema de coleta seletiva, a partir da ACV, tendo como estudo de caso o núcleo de coleta seletiva Bairro dos Estados, no município de João Pessoa, Paraíba.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar análise ambiental do programa de coleta seletiva domiciliar do núcleo do Bairro dos Estados no município de João Pessoa, no ano de 2015.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a distribuição dos resíduos sólidos domiciliares (RDO) coletados na área de estudo entre a coleta seletiva e o aterro sanitário.
- Analisar a logística do programa de coleta seletiva realizada dentro do limite do estudo.
- Realizar a Análise do Ciclo de Vida (ACV) do programa de coleta seletiva do núcleo.
- Avaliar os impactos ambientais gerados pelo núcleo em cada setor do programa de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos

Os conceitos de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos são bastante conectados, de maneira que mudanças em um pode influenciar o outro. Com relação à sequência de estruturação, a gestão antecede o gerenciamento cuja estrutura segue o modelo de gestão definido (IKUTA, 2010).

A gestão de resíduos sólidos compreende o conjunto de atividades que envolvem a tomada de decisões estratégicas e a organização desse setor por parte de um administrador. Normalmente, está associada a instituições, políticas e instrumentos. Um modelo de gestão deve: reconhecer os diversos agentes envolvidos e as funções por eles desempenhadas, promovendo sua articulação; ter garantido por lei as condições que viabilizem sua implementação; possuir mecanismos de financiamento para que as estruturas de gestão e do gerenciamento se sustentem; informar à sociedade, ação promovida tanto pelo poder público quanto pelos setores produtivos envolvidos, para que haja colaboração social; ter um sistema de planejamento integrado, que envolva todo o ciclo dos resíduos, da geração à disposição final. Já o gerenciamento dos resíduos sólidos está relacionado aos fatores técnicos, tecnológicos e operacionais para que os objetivos de uma boa gestão sejam atingidos. Estudam-se as questões administrativas, gerenciais, econômicas, ambientais e de desempenho, em busca de executar de maneira eficiente para a realidade local as etapas de prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação, destinação e disposição final dos resíduos sólidos (SCHALCH et al, 2002).

Desta forma, a gestão de resíduos sólidos pode ser compreendida como as normas e leis relacionadas aos resíduos sólidos, já o gerenciamento dos resíduos sólidos pelo acompanhamento, disciplinamento e melhoria de todas as operações que abrangem o ciclo dos resíduos sólidos (LOPES, 2003).

2.2 Aspectos legais aplicáveis aos resíduos sólidos e aos seus impactos

A maneira na qual a questão dos resíduos sólidos vem sendo encarada está passando por mudanças que estão refletidas nas discussões e leis nacionais, estaduais e municipais, as quais estimulam a gestão desses resíduos de maneira integrada.

2.2.1 Âmbito nacional

Um marco regulatório para este setor chama-se Tríade Legal do Saneamento Básico, formada pela Lei de Consórcios Públicos (LCP) nº 11.107/2005, Lei de Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (LDNSB) nº 11.445/2007 e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305/2010 (ROMANI, 2014).

A LCP conceitua consórcio público como “pessoa jurídica formada exclusivamente por entes da Federação para estabelecer relações de cooperação federativa na realização de objetivos de interesse comum” na busca por conciliar, em escala adequada, o cumprimento das políticas públicas, sem perda de autonomia conferida aos municípios na prestação de serviços. Segundo Ministério do Meio Ambiente - MMA (2010), o consórcio proporciona a cooperação entre municípios e entre municípios e estados, garantindo-lhes maior eficiência e sustentabilidade na gestão e na prestação dos serviços. Os municípios que não participam de consórcios tendem a dispor seus resíduos em lixões, enquanto os que se utilizam de consórcios para manejo dos resíduos sólidos adotam o aterro sanitário como principal destinação final (TCU, 2011).

A LDNSB, dentre vários aspectos relevantes, trouxe a ampliação do conceito de saneamento básico, que passou a incluir também a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos e, a busca pela sustentabilidade econômico-financeira dos serviços prestados, por meio de remuneração dos serviços executados, considerando as especificidades locais e capacidade de pagamento dos usuários. Segundo Brasil (2011), apenas 10,9% dos municípios brasileiros possuíam algum tipo de cobrança pelos serviços de manejo de resíduos sólidos em 2008, situação que colabora para orçamentos limitados a este setor.

A PNRS vem conceituar o termo resíduo como “substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade” e o termo rejeito como “o material que, depois de findadas todas as opções de tratamento e recuperação por tecnologias acessíveis e viáveis economicamente, não reste outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada”. Esta diferenciação dos conceitos vem estimular uma nova cultura que procura realizar o reaproveitamento dos resíduos. A política supracitada vem também promover um redesenho dos processos produtivos e dos hábitos de consumo consciente por parte da população, que reduza os desperdícios, na medida em que estabelece que a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos devam acontecer em ordem de prioridade nos quesitos de não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e, por último,

a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2014).

Essa lei também institui a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos de maneira individualizada e encadeada entre os fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos. Para alcançar esse princípio, a PNRS traz como instrumentos a Logística Reversa dos resíduos pré-consumo¹ e pós-consumo²; o fomento da coleta seletiva realizada por cooperativas ou associações de catadores, que é um instrumento facilitador da chegada de cada tipo de resíduo a seu devido reaproveitamento e também gerador de emprego e renda. A PNRS também exige a elaboração dos planos municipais de gerenciamento de resíduos como condição legal para o acesso aos recursos públicos federais destinados aos serviços de limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos.

Quanto às leis que tratam diretamente dos impactos causados pelo manejo dos resíduos, tem-se a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), Lei nº 12.187/2009, que estabelece o compromisso frente à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima de reduzir em 36,1% a 38,9% as emissões de gases do efeito estufa até 2020, através do cumprimento das metas estabelecidas no Plano Nacional de Mudança do Clima, sendo uma delas o aumento da reciclagem de resíduos sólidos urbanos em 20% até 2015. A lei supracitada também determina o estabelecimento de critérios de preferência nas licitações e concorrência públicas (parcerias público-privadas – PPP, autorização, permissão, outorga e concessão para exploração de serviços públicos e recursos naturais) para as propostas que ofereçam maior economia de energia, água e outros recursos naturais e, redução da emissão de gases de efeito estufa e de resíduos.

O Decreto nº 7.390/2010, que regulamenta a PNMC, estabelece a criação de planos setoriais de mitigação nas áreas de mudança do uso da terra, energia, agropecuária, processos industriais e tratamento de resíduos, os quais devem incluir metas gradativas de redução, indicadores para monitoramento e avaliação, ações a serem implementadas, como, no caso dos resíduos, a referida lei traz a ampliação do uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos de animais. Segundo Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI (2014), enquanto o setor de uso da terra e florestas reduziu 85,1% das emissões no período de 2005 a 2012, o setor de energia aumentou em 35,9%, processos industriais em 9,5%, agropecuária em 7,4% e tratamento de resíduos em 18,8%.

¹ Produzidos durante os processos produtivos.

² Decorrente da utilização de um bem.

2.2.2 Âmbito estadual

Na esfera estadual, tem-se a Lei nº 9.260/2010, que traz os princípios e diretrizes da Política Estadual de Saneamento Básico, onde o Estado da Paraíba é designado como cooperador dos municípios mediante administração direta ou indireta na gestão dos serviços públicos de saneamento básico (acesso à água potável, limpeza de logradouros, manejo dos resíduos sólidos e drenagem das águas pluviais), por meio de instrumentos como consórcios públicos ou convênios de cooperação.

2.2.3 Âmbito municipal

Em nível municipal, a problemática dos resíduos sólidos está bastante presente em seus regulamentos. A Lei Orgânica do Município de João Pessoa, promulgada em 1990, objetiva o desenvolvimento econômico em consonância com os direitos humanos e com a natureza. Desta forma, a lei estabelece atuação do município no planejamento, controle e fiscalização de atividades públicas ou privadas, que causem efetiva ou potencial alteração no meio ambiente, como, expresso na referida lei, a interdição da disposição de resíduos sólidos domésticos, industriais, de abatedouros públicos e privados, hospitalares e atividades semelhantes com impacto negativo sobre o meio ambiente. Esta lei também institui a promoção de educação ambiental em todos os níveis de ensino e atribuição ao degradador de recuperar o meio ambiente através dos meios legais disponíveis.

Como exigência desta lei, a Lei complementar 29 de agosto de 2002 instituiu o Código Municipal do Meio Ambiente de João Pessoa, que regula a ação pública de forma a garantir o desenvolvimento sustentável. A lei proíbe, em todo o território municipal, a disposição de resíduos em vias públicas, praças, terrenos baldios e em outras áreas não designadas para esta finalidade e a queima e a disposição final dos resíduos em lixões. O referido Código também determina que o poder público municipal deve estimular o programa de coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos, a implantação de um sistema descentralizado de usinas de processamento, como também a realização de estudos, projetos e atividades que proponham a reciclagem dos resíduos sólidos em parceria com empresas privadas e as organizações da sociedade civil.

O Decreto nº 8.886/2016 dispõe sobre a Política Municipal de Resíduos Sólidos de João Pessoa, que traz a abrangência do sistema de gestão integrada de resíduos sólidos, que inclui, na totalidade ou em partes, as atividades de geração, acondicionamento, coleta seletiva,

transporte, triagem e tratamento de resíduos sólidos, valorização dos resíduos, disposição final ambientalmente adequada, compostagem, reciclagem e utilização de tecnologias adequadas, conservação e manutenção dos equipamentos e das infraestruturas e as atividades de caráter administrativo, financeiro e de fiscalização. É também disposto no referido Decreto que os geradores dos resíduos devem objetivar a não geração de resíduo e a sua redução, segregação na fonte de acordo com a sua tipologia, promovendo o adequado acondicionamento, retornando os resíduos gerados em novos ciclos produtivos, por meio da compostagem, reutilização e reciclagem. O Decreto também exige o desenvolvimento, com a participação da sociedade, do Código Municipal de Limpeza Urbana - CMLU - pelo qual são regidos os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos.

2.3 Geração, coleta e destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil

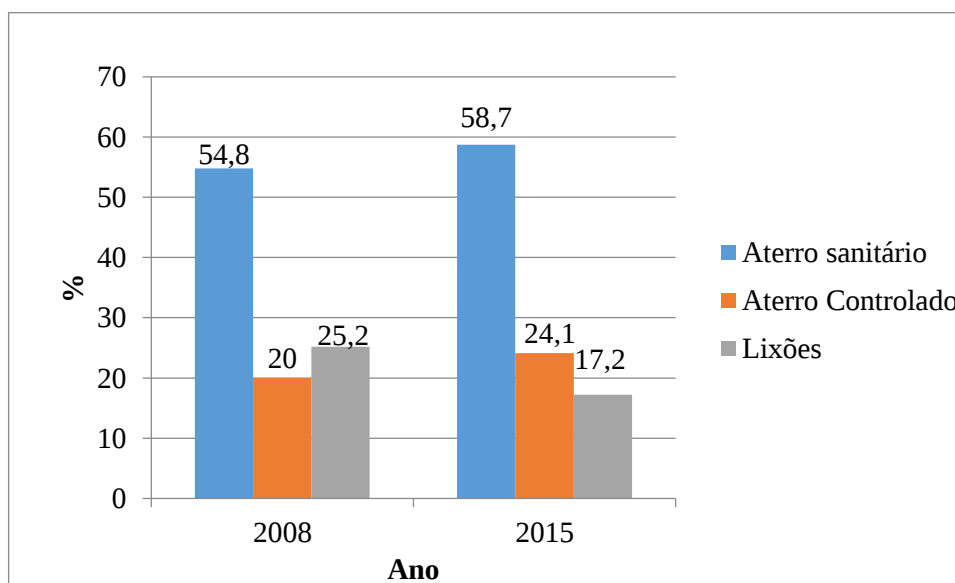
No ano de 2015, o país gerou um total anual de 79,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos, ou seja, 218.874 t/dia e uma geração per capita de 1,071 kg/hab/dia. Com relação à quantidade coletada, foi identificada uma quantidade de 72,5 milhões de toneladas, resultando em um índice de cobertura de coleta de 90,8%. A diferença de 7,3 milhões de toneladas corresponde ao montante que os serviços de coleta não conseguiram alcançar (ABRELPE, 2015).

Historicamente, a atenção dada pelas autoridades gestoras à destinação adequada dos resíduos urbanos sempre foi baixa, tendo por muito tempo como única medida o recolhimento e disposição em lugares distantes (SIQUEIRA e DE MORAES, 2009). A razão deste fato, frente ao orçamento restrito dos municípios, está relacionada com a prioridade dada aos serviços de coleta, que tem maior visibilidade pela população, em detrimento da disposição ambientalmente adequada, que na sua ausência, a população em geral pouco é atingida, exceto os habitantes localizados próximos aos lixões, afetados diretamente por suas externalidades negativas (IBAM, 2001). Os lixões são locais onde são dispostos resíduos sólidos diversos sem que seja feita a impermeabilização do solo, provocando poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do carreamento ou percolação do lixiviado. A exposição dos resíduos ao ar provoca atração de vetores de doenças e emissão de gás metano oriundo da decomposição da matéria orgânica (LANZA e DE CARVALHO, 2006).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos determinou um prazo para eliminação dos lixões até 2014. Porém, em 2015, verificou-se que existia ainda uma considerável parcela (17,2%) do total dos resíduos coletados sendo dispostos em lixões (Figura 1). Segundo

ABRELPEa (2008) e ABRELPEb (2015), embora tenha havido um crescimento da quantidade disposta adequadamente (em aterros sanitários) de 2008 a 2015 (antes e após a publicação da PNRS), registrou-se que 41,3% dos resíduos coletados, em 2015, foram destinados inadequadamente (em lixões e aterros controlados). De acordo ABRELPE (2015), 3.326 municípios brasileiros, equivalente a 59% do total, ainda faziam uso desses locais impróprios. O aterro controlado configura-se como destinação inadequada por, apesar de cobrir os resíduos com uma camada de material inerte, este método gera poluição, ainda que de maneira controlada, na medida em que não se faz a impermeabilização de base (possibilidade de comprometimento da qualidade das águas subterrâneas), nem o tratamento do lixiviado e do biogás gerado. O aterro sanitário, no entanto, constitui uma boa disposição final sob o ponto de vista sanitário, por possuir a proteção do solo e a captação e tratamento do gás e lixiviado. Na fase de planejamento do aterro sanitário, é necessário um estudo de localização, considerando a proximidade de residências, acesso ao local, obras de drenagem, possibilidade de contaminação de água, entre outros (FUNASA, 2007).

Figura 1 - Destino final dos resíduos sólidos no Brasil pela quantidade coletada (t/dia).



Fonte: ABRELPE, 2008; ABRELPE, 2015.

2.4 Coleta seletiva e reciclagem

A coleta seletiva é uma ferramenta que dá início ao processo de recuperação dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos ao interromper que esses materiais se

misturem no percurso tradicional de manejo dos resíduos, e vem trazer benefícios para a manutenção da qualidade do material e sua valorização econômica, pois evita que o material perca potencial de recuperação, ao ser misturado aos resíduos orgânicos e outros inorgânicos (BRINGHENTI, 2004). Assim, para alcançar seus objetivos, os programas de coleta seletiva são dependentes em elevado grau da separação prévia dos resíduos na fonte geradora (IPEA, 2011).

Ao permitir que parte dos resíduos que seriam encaminhados aos aterros sanitários sejam desviados para reaproveitamento e reciclagem, a coleta seletiva configura-se como importante instrumento no aumento da vida útil dos aterros sanitários, atua como fonte de renda e trabalho para os catadores, como também, ao reinseri-los nas suas próprias cadeias produtivas ou em outras, contribui para preservação dos recursos naturais, pois se evita a extração de matéria-prima virgem da natureza para fabricação de novos produtos (ROMANI, 2014). Além disso, a coleta seletiva reduz os gastos públicos com investimentos em áreas para novos aterros, com limpeza pública, pois ao estimular a participação da sociedade e promover valores e atitudes em relação ao meio ambiente, necessita-se de menos intervenção do Estado na remediação de focos de poluição auxiliando, inclusive, outros setores do saneamento. A partir da comercialização dos recicláveis, há também a movimentação da economia local, à medida que alimenta as indústrias de reciclagem existentes e fomenta a instalação de novas unidades (CEMPRE, 2014).

A fase de pré-coleta tem grande relevância para a eficiência do programa, já que se constituem nas atividades de manuseio, segregação e acondicionamento que acontecem anteriormente ao recolhimento dos resíduos. Esta etapa exige a apresentação de condições higiênicas suficientes para preservação da qualidade do material e o estabelecimento de lugares e horários sintonizados com a coleta (NÓBREGA, 2003). A depender da estratégia de implantação da coleta, a separação dos materiais recicláveis pode ser diferenciada para cada categoria ou única para todos os materiais recicláveis, também denominados resíduos sólidos secos (BRINGHENTI, 2004).

Os tipos de coleta seletiva podem variar, de acordo com Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE (2014), em:

- Porta a Porta: veículos coletores percorrem as residências em dias e horários específicos que não coincidam com a coleta normal de resíduo sólido. Os moradores colocam os recicláveis nas calçadas, acondicionados em contêineres distintos.

- Postos de Entrega Voluntária (PEVs): pontos físicos no município onde o cidadão, espontaneamente, deposita os resíduos sólidos recicláveis.
- Postos de Troca: troca do material a ser reciclado por algum bem.
- Coleta com a participação dos catadores: recolhimento dos materiais disponíveis nas vias públicas por catadores organizados em cooperativas ou associações, bem como catadores autônomos.

Cada modalidade de coleta possui pontos positivos e negativos. A coleta seletiva porta a porta influi em uma maior adesão por dispensar o deslocamento até o PEV, permite mensurar a participação dos domicílios e estabelecimentos participantes. Porém, envolve custos maiores devido à coleta e transporte. Os PEVs possuem menor custo com coleta e transporte, além de permitir a exploração do local com publicidade e campanhas educativas, como também facilita a triagem por ter vários tipos de recipientes. No entanto, esse tipo de coleta dificulta a contabilização da população participante, requer disponibilidade das pessoas para se deslocarem, está sujeita a vandalismos e exige manutenção e limpeza periódicas. A coleta realizada por catadores autônomos permite uma maior independência da administração pública, mas apresenta elevado risco de acidentes, como também prejudica a manutenção da limpeza pública, uma vez que as embalagens de lixo são danificadas na procura por materiais recicláveis (GRIMBERG e BLAETH, 1998).

A coleta seletiva é parte integrante da cadeia de processos que levam à reciclagem cujas etapas envolvem desde o descarte, coleta, triagem, enfiamento, comercialização do material, logística de transporte, o beneficiamento pela indústria até o desenvolvimento do mercado para o novo produto (SANTOS et al., 2011). O mercado de reciclagem tem ganhado destaque recentemente devido ao aumento de resíduos descartados e ao encarecimento paulatino de matérias-primas virgens necessárias à fabricação de novos produtos (SILVA et al, 2013). Segundo ABRELPE (2015), a reciclagem das latas de alumínio obteve, em 2015, uma taxa de recuperação de 98,4%, mantendo o Brasil na liderança mundial neste segmento. O plástico PET teve índice de reaproveitamento de 51% e o papel, 63,4%.

Porém, existe uma baixa participação da coleta seletiva formal³ na reciclagem total do país. De acordo com Brasil (2011), em 2008, do total de resíduos reciclados no Brasil, a coleta seletiva formal foi responsável pela reciclagem no setor de metais em 0,7%, papel/papelão (7,5%), no plástico (17,7%) e no vidro (10,4%). Infere-se, portanto, que a

³ Realizada ou apoiada pela administração municipal por meio de organizações tais como cooperativas ou associação de catadores.

reciclagem no país é alimentada pelos resíduos pré-consumo e pela coleta seletiva informal⁴. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2012), apenas 32,3% dos municípios brasileiros possuem programa, projeto ou ação de coleta seletiva de resíduo sólido em atividade, sendo que a maioria se concentra nas regiões Sul e Sudeste e, muitas têm abrangência parcial e ineficiente (BRASIL, 2011).

Os baixos índices de recuperação de materiais recicláveis pelos programas de coleta seletiva formais estão relacionados a limitações de ordem técnica, econômica e organizacional. Fatores como falta de capacitação e cooperativismo, logística ineficiente, escassez de campanhas efetivas e permanentes de conscientização, concorrência com catadores autônomos contribuem para a falta de capitalização, dificultando a aquisição de equipamentos e a modernização tecnológica e, conseqüentemente, a dependência do setor público para a sustentabilidade do programa (RIBEIRO e BESEN, 2006). O poder público, por sua vez, muitas vezes encara a coleta seletiva como um elemento de dispêndio obrigatório da Prefeitura, sendo justificado pelo alcance social associado, tendo sido comparados a gastos com saúde, educação, segurança pública, transporte de massa (CALDERONI, 1998). Segundo ROMANI (2014), os serviços públicos oferecidos no setor de manejo de resíduos sólidos apresentam, em geral, valores arrecadados insuficientes para cobrir as despesas, mesmo nos municípios onde há cobrança de taxa ou tarifa.

Dentre os agentes envolvidos no âmbito da reciclagem, os catadores são o grupo mais frágil do sistema, sendo submetidos às condições impostas pelos atravessadores⁵, diante da necessidade de capital em curto prazo (SANTOS et al, 2011).

2.5 Aspectos sobre a gestão dos resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa/PB

Os serviços de limpeza pública no município de João Pessoa são responsabilidades da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR) e correspondem à coleta e transporte do resíduo domiciliar e comercial, resíduos com origem de capinas, podas, limpeza de logradouros e vias públicas, entre outros. Segundo o Município de João Pessoa (2014), o serviço de coleta atende 94% da malha urbana do município.

No ano de 2013, foram geradas 415.958,59 toneladas de resíduos sólidos urbanos (resíduos domiciliares, resíduos da construção civil e resíduos do serviço de limpeza pública),

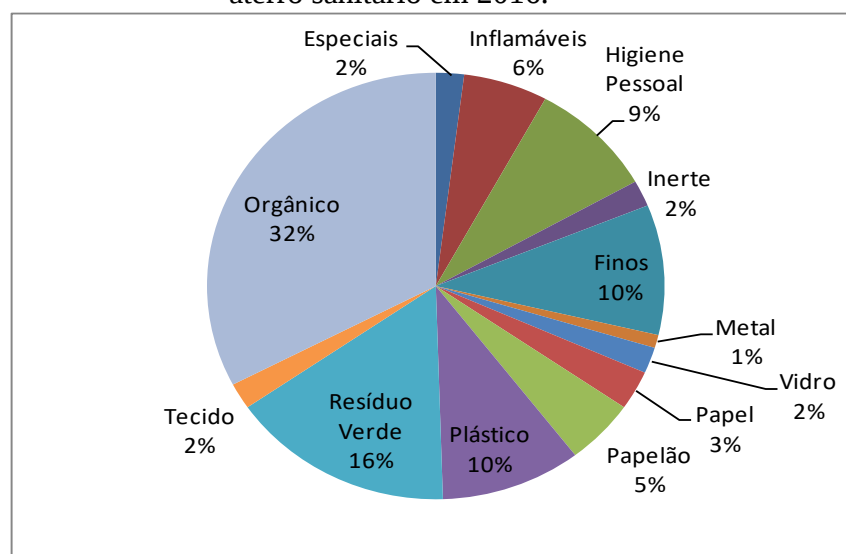
⁴ Realizada por catadores autônomos dispersos pela cidade cuja quantidade não é contabilizada pelos órgãos municipais.

⁵ Agente intermediário que compra os materiais recicláveis dos catadores e revende às indústrias de reciclagem.

correspondendo a uma geração per capita de 0,94 kg/hab.dia (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014).

A composição gravimétrica dos resíduos domiciliares destinados ao aterro sanitário, em 2016, mostra que 48% da massa de resíduos sólidos domiciliares (RDO) correspondem à matéria orgânica e aos resíduos verdes e 21% para a fração inorgânica reciclável (Figura 2).

Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares enviados ao aterro sanitário em 2016.



Fonte: Martins, 2017.

Em 2003, em substituição ao Lixão do Roger, entrou em atividade o Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) que está localizado a 19km do centro comercial do município à margem direita da BR 101 na saída para Recife no bairro de Mussuré. O referido aterro, além de dispor os resíduos da capital paraibana, também recebe os RDO dos municípios de Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, e Conde e, desde 2013 passou a receber os resíduos de Alhandra, sendo que não estava previsto no projeto o município supracitado dispor os resíduos no ASMJP. Até o ano de 2013, 70,49% dos RDO dispostos no referido aterro foram oriundos do município de João Pessoa. A capacidade instalada do referido aterro é de 9.880.000 toneladas e, em 2013 (11 anos após o início de operação), a quantidade total de resíduos sólidos domiciliares (RDO) disposta era de 4.122.719 toneladas, ou seja, 41% da sua capacidade (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014).

Em 2000, a EMLUR implantou o Projeto Piloto de Coleta Seletiva visando à reciclagem e diminuição do volume que, anteriormente, era disposto no lixão e, atualmente é disposto no ASMJP. Motivada pela Lei Federal nº 5.764/1971, que regulamenta o funcionamento do cooperativismo, foi formada a Associação dos Trabalhadores de Materiais

Recicláveis (ASTRAMARE), que incorporou parte dos catadores de resíduos do antigo Lixão do Roger para realização da coleta seletiva porta a porta, funcionando em área com infraestrutura cedida pela Prefeitura Municipal, mas com administração de responsabilidade dos catadores (NÓBREGA, 2003).

Segundo Nóbrega (2003), os catadores relataram em entrevistas as melhorias que aconteceram depois da saída do referido lixão e com a entrada na coleta seletiva. Alguns citaram a aceitação do seu trabalho pela sociedade que passou a valorizá-los, as condições de higiene proporcionadas pelo fardamento, alimentação e apoio operacional da EMLUR, percepção da importância como cidadãos pelo valor de seu trabalho, sentimento de reinserção a sociedade por passarem a ter crédito no comércio, por se alimentarem melhor, terem seus filhos na escola e, também o distanciamento do convívio com as drogas e bebidas alcoólicas. São benefícios de difícil valoração e que devem ser apreciados pelos gestores.

Existem quatro (04) associações de catadores: ASTRAMARE, Associação de Catadores de Resíduos de João Pessoa (ASCARE-JP), Acordo Verde e Catajampa, que dividem a administração dos sete (07) núcleos de coleta seletiva no município e uma Central de Triagem (CT), nas proximidades do ASMJP (Quadro 1). Esses núcleos estão localizados nos bairros do Bessa, Cabo Branco, Mangabeira, Jardim Cidade Universitária, Bairro dos Estados, Roger e Mandacaru, atendendo dezoito (18) bairros dos sessenta e quatro (64) bairros do município de João Pessoa, correspondente a 30% da população (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014). As associações possuem cerca de 169 associados, sendo 85 na CT (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014). Vale ressaltar que o número de associados varia devido a alguns fatores, como período da entre safra da cana de açúcar e falta de emprego.

Quadro 1- Administração dos núcleos de coleta seletiva.

Núcleo	Administração
Bessa	ASCAREJP
Cabo Branco	ASCAREJP
Mangabeira	Acordo Verde
Jardim Cidade Universitária	Acordo Verde
Aterro Sanitário Metropolitano	ASTRAMARE
Bairro dos Estados	ASTRAMARE
Roger	ASTRAMARE
Mandacaru	Catajampa

Fonte: Município de João Pessoa, 2014.

No Anexo 1, pode-se observar a área abrangida por cada núcleo de coleta seletiva no município de João Pessoa.

As associações, exceto a Catajampa, recebem apoio da EMLUR através do provimento das instalações dos núcleos e fornecimento do almoço, fardamentos, equipamentos de proteção individual (EPIs), entre outros. O núcleo de Mandacaru, administrado pela Catajampa, funciona por meio de parceria com a Universidade Estadual da Paraíba - UEPB (MARTINS, 2017).

Infelizmente, o projeto ainda está muito aquém da sua proposta, pois foi verificado que apenas uma pequena parcela de resíduos recicláveis (1,21%) foi recolhida pelas associações de catadores do total dos resíduos domiciliares coletados entre 2005 e 2012, segundo Município de João Pessoa (2014). Nóbrega (2003) relata diversos fatores causadores dessa situação, constatados até a atualidade (MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA, 2014), como: baixa colaboração do gerador dos resíduos em separá-los em secos e úmidos, dificultando a reinserção do material na cadeia produtiva em boa qualidade e eficiência; baixo preço de venda dos materiais que são estabelecidos pelos atravessadores e, destes por sua vez, pelas indústrias recicladoras, constituindo-se verdadeiros oligopólios do comércio de recicláveis, pela baixa ou falta de concorrência nesse mercado.

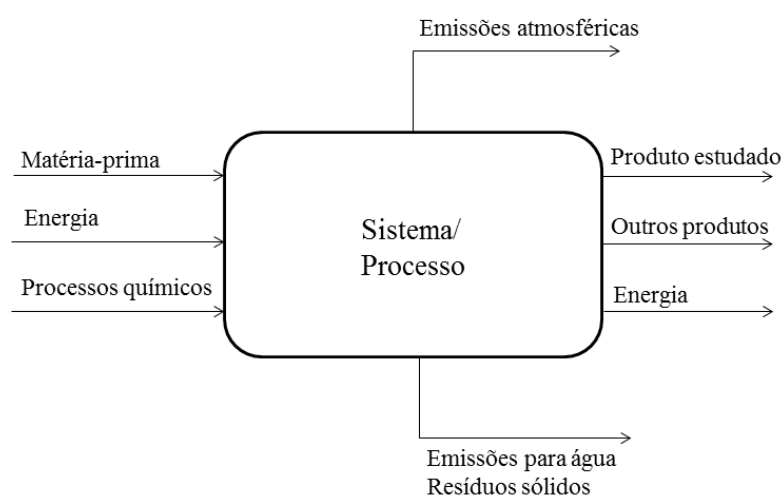
De acordo com Município de João Pessoa (2014), a EMLUR opera com um déficit existente entre a receita e as despesas anualmente. A receita é proveniente da Taxa de Coleta de Resíduos – TCR anual e da cobrança pelos serviços dos médios e grandes geradores que extrapolem a quantidade definida em Lei dos resíduos domiciliares, comerciais e de serviços, de resíduos da construção civil e especiais, sendo insuficiente para alcançar a sustentabilidade econômica do sistema. O Estado da Paraíba não se utiliza de instrumentos como o ICMS Ecológico, ICSM Sociambiental ou ICSM Verde, existentes em outros estados brasileiros, para incentivar os municípios a executarem boas práticas ambientais na gestão e, assim receberem repasse do ICMS. Porém, Município de João Pessoa (2014) também afirma que a sustentabilidade do sistema pode ser alcançada com os programas de coleta seletiva de materiais recicláveis e orgânicos, por exemplo, à medida que é diminuída a quantidade a ser aterrada.

2.6 Análise de Ciclo de Vida (ACV)

A Análise de Ciclo de Vida (ACV), internacionalmente conhecido como Life-Cycle Assessment, é um instrumento que permite avaliar os impactos ambientais de um produto ou processo a partir da contabilização das entradas e saídas do sistema, em termos de retirada de energia e recursos da natureza e sua devolução em termos de resíduos, subprodutos e

emissões para água, terra e ar (Figura 3). Essa ferramenta considera todas as transformações intermediárias envolvidas no produto ou processo avaliado, como processamento, distribuição, transportes, reciclagem, disposição final. Além de oferecer uma visão global dos impactos ambientais causados pela materialização de determinado produto ou processo, essa análise auxilia a identificação dos pontos críticos em meio às diversas etapas do sistema, oferecendo suporte para melhoria de seu desempenho ambiental ou até mesmo para criação de novos produtos e serviços (MOURAD et al, 2002).

Figura 3 - Exemplos de entradas e saídas de um sistema avaliado.



Fonte: De Andrade, 2014. Adaptado.

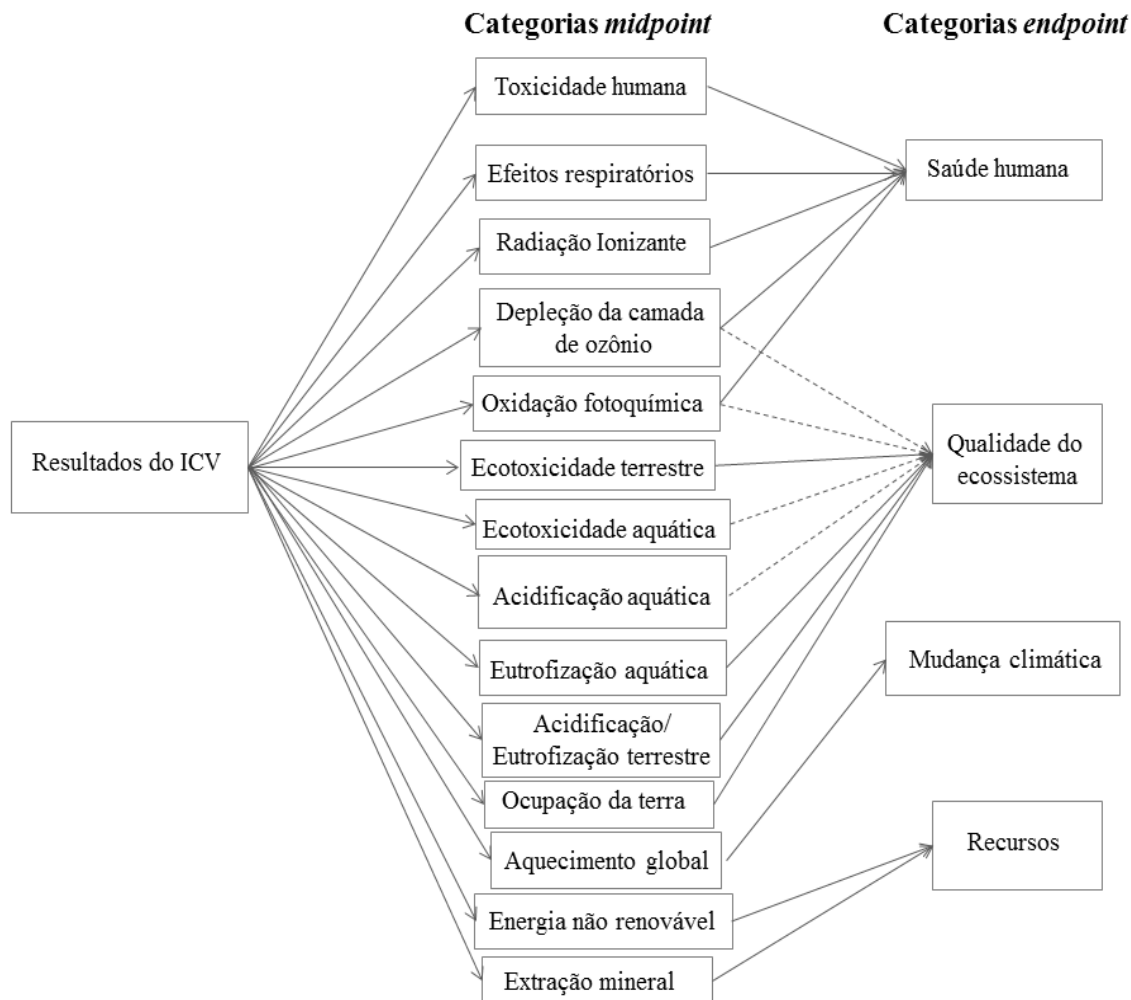
O primeiro estudo de ACV que se tem conhecimento, porém nunca publicado, foi realizado pela Midwest Research Institute (MRI) para a empresa Coca-Cola em 1969, onde foi comparado diferentes tipos de recipientes, buscando determinar qual possuía menor consumo de recursos e quantidade de emissões. A MRI denominou esse tipo de estudo de Análise de Recursos e Perfil Ambiental, que se baseou em uma análise de sistemas “do berço ao túmulo” da cadeia produtiva dos produtos investigados. O período entre 1970 e 1990 foi marcado pela crescente quantidade de estudos e interesse no assunto, que resultou em uso de terminologias, abordagens e métodos divergentes, sem uma estrutura teórica comum. Por isso, a International Organization for Standardization (ISO) padronizou os procedimentos de uma ACV, facilitando as discussões científicas internacionais sobre o tema (GUINEE et al, 2010).

De acordo com a ISO 14040 (2014), a ACV possui quatro etapas:

- 1) Definição do objetivo e escopo: são elencadas as razões para realizar o estudo e a quem a se destina; são definidas as fronteiras do sistema em termos geográficos, temporais, das atividades incluídas e excluídas do processo e da maneira que se relacionam com o meio ambiente; é determinada a unidade funcional (unidade de referência a qual todos os dados de entrada e saída são relacionados); são estabelecidos os requisitos de qualidade dos dados (quanto à idade dos dados, representatividade, precisão, etc.).
- 2) Análise do inventário: realização de levantamento de dados de entrada e saída de todas as etapas inclusas na fronteira do sistema, formando o inventário de ciclo de vida (ICV).
- 3) Avaliação de impactos: definição das categorias de impacto, métodos e indicadores utilizados; correlação dos dados do inventário com as categorias de impacto específicas (classificação); equivalência dos componentes do inventário com a unidade de medida da categoria estudada (caracterização).
- 4) Interpretação dos impactos: correlação dos resultados da análise do inventário e da avaliação de impacto, buscando alcançar conclusões e recomendações.

Na literatura especializada, os métodos de avaliação de impactos encontrados são: CML, Ecoindicator 99, Ecological Scarcity, IMPACT 2002+, EPS 2000, EDIP, TRACI, LIME, LUCAS, MEEuP, ReCiPe, USEtox, IMPACT World+. Estes métodos diferem pelo local onde foram desenvolvidos, pela abrangência de aplicação (global, continental ou nacional), pelas categorias de impactos avaliadas e pelo nível de avaliação (*midpoint*: detalham um conjunto de impactos dentro de uma categoria de impacto maior; *endpoint*: as categorias midpoint são agrupadas gerando resultados únicos por meio de ponderação; combinado: consideram ambos os níveis). Para entendimento dos conceitos *midpoint* e *endpoint*, as categorias de impactos do IMPACT 2002+, por exemplo, são mostrados na Figura 4, trazendo a abordagem combinada (MENDES et al., 2016).

Figura 4 - Categorias *midpoint* e *endpoint* em abordagem combinada do método IMPACT 2002+.



Fonte: Jolliet et al. *apud* Mendes, 2013. Adaptado.

Esses métodos são inseridos em softwares comerciais que dão suporte no desenvolvimento de estudos de Análise de Ciclo de Vida (ACV), entre os quais estão SimaPro, Umberto, GaBi, PEMS, Emis, Regis, ECO-it, LCA it. Dentro dos softwares, estão presentes diversas bases de dados, com informações a respeito de elementos comuns a vários ciclos de vida de produtos, transporte, energia e disponibilidade de recursos e, foram formados a partir de Inventários de Ciclo de Vida (IVC). O banco de dados ajuda a reduzir o tempo de coleta de informações, porém pode possuir caráter regional e não abranger o sistema em estudo, prejudicando os resultados. São exemplos de banco de dados: BUWAL 250, Ecoinvent, IVAM LCA Data, EDIP (CAMPOLINA et al., 2015).

Como a Análise de Ciclo de Vida (ACV) envolve a compilação de uma vasta quantidade de dados, esta ferramenta está sujeita a algumas limitações, como: o exaustivo tempo e recursos empregados na coleta de dados; a inexatidão da quantificação dos impactos diante da dificuldade de obtenção dos dados necessários e de sua qualidade (médias, falhas, especificidades locais, etc.); a existência de uma variedade de métodos de avaliação de impacto, sendo um dos fatores de impedimento da comparação de resultados de diferentes estudos de ACV; os resultados da ACV que envolvem questões globais não conseguem ser adequadamente transferidos para a realidade local. Por isso, em geral, a utilização da ACV faz parte de um processo decisório mais abrangente, visando compreender os impactos de maneira mais ampla (MATOS, 2012; ISO 14040, 2014).

2.6.1 Estudos de casos na gestão de resíduos sólidos

Li et al. (2015) desenvolveram um modelo de avaliação de sustentabilidade para analisar três cenários de gestão de resíduos sólidos municipais na China. Os autores utilizaram três métodos de avaliação: Análise de Ciclo de Vida, Avaliação do Risco à Saúde Humana e Contabilidade de Custos. Os aspectos ambientais, sociais e econômicos dos cenários foram integrados em um Processo Analítico Hierárquico, que envolveu o grau de participação das partes interessadas (*stakeholders*). O cenário 1 trata da disposição dos resíduos em aterro com coleta e tratamento do lixiviado e queima do gás sem recuperação de energia. O cenário 2 é a incineração de todos os resíduos com aproveitamento energético, tendo suas cinzas e resíduos do controle de poluição encaminhado a um aterro no local. O cenário 3 trata de uma combinação de compostagem com uma unidade de recuperação dos materiais, onde a parte dos resíduos considerados inertes são levados a um aterro no local. Do ponto de vista ambiental, a ACV analisou quatro categorias de impacto (acidificação, eutrofização, aquecimento global e formação de foto-oxidantes), mostrando que o cenário 2 possui o menor impacto por evitar os impactos negativos advindos da geração da mesma quantidade de energia a partir do carvão (principal matriz energética da cidade utilizada como referência: Zhangqiu), processo que gera elevadas quantidades de SO_2 e NO_x . O cenário 3 teve um terço dos impactos causados pelo cenário 1, fato que se deve a redução na produção de materiais oriundos de matéria-prima virgem. Do ponto de vista econômico, a alternativa mais barata foi o cenário 1, em seguida o 2 e o 3. Do ponto de vista social, o cenário 3 oferece menos danos à saúde. Quando atribuído pesos aos três aspectos, o cenário que apresentou maior eficiência foi o 3.

Bovea et al. (2010) simularam 24 cenários para a gestão de resíduos de sólidos de um município na Espanha de 172.110 habitantes e produção de resíduos 1,15kg/hab.dia, através da aplicação da ACV. Alguns itens foram variados, como: as taxas de reciclagem, diferentes sistemas de coleta implantados no país, tratamentos distintos dados à parcela biodegradável (compostagem ou biogaseificação) e à parcela disposta em aterros sanitários (com e sem recuperação energética). Foram consideradas as etapas de pré-coleta (sacos e contêineres), coleta, transporte, pré-tratamento (separação de resíduos) e tratamento/disposição. As categorias analisadas foram a eutrofização, acidificação, aquecimento global, redução da camada de ozônio e oxidação fotoquímica. Os autores concluíram que o combustível consumido nas fases de coleta, transporte e separação dos resíduos gera contribuição ambiental negativa para todas as categorias analisadas, pois não há nenhum impacto evitado nesses processos. A reciclagem gera contribuição ambiental positiva, já que se evita o consumo de matéria-prima virgem. A análise também permitiu verificar que a biogaseificação fornece uma maior vantagem com relação à compostagem.

Xará et al. (2014) aplicaram a ACV no contexto da gestão das baterias alcalinas descartadas em Portugal. Diante da inexistência de indústrias recicladoras deste tipo de resíduo no país e, da exigência legal europeia a respeito do seu tratamento e reciclagem, esse material, na época do estudo, estava sendo enviada a Áustria e a França e, vinha sendo ponderado o envio à Espanha. Portanto, os autores analisaram essas três alternativas de países, considerando desde fabricação do contêiner, sua distribuição, coleta e separação das baterias, transporte internacional e a reciclagem da bateria em si. As categorias avaliadas foram saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos, as quais agrupam 11 categorias de impacto. A pesquisa mostrou que a França teve a qualidade do ecossistema mais afetada e a Espanha obteve o pior impacto em termos de saúde humana. Nessas duas categorias, a Áustria destacou-se, no entanto, apresentou pior resultado para a categoria de recursos, onde a França se sobressaiu. O estudo sugeriu pontos para melhoria para caso, como: o nível de impacto da reciclagem na França dentro da categoria ecotoxicidade; a situação do processo de reciclagem na Espanha em termos de efeitos respiratórios; o índice de consumo de combustíveis fósseis no setor de transportes e de reciclagem na Áustria para categoria de recursos.

Araújo (2013) aplicou ACV para a gestão de resíduos no Brasil, particularmente para os resíduos eletroeletrônicos (REE). Foram avaliados dois cenários: o cenário base trata do envio de computadores desktop para aterros sanitários e o cenário alternativo considera os componentes do desktop aproveitados na remanufatura e reciclagem dos materiais, sendo as placas de circuito impresso recicladas em fundição integrada na Suécia. As categorias de

impacto analisados foram ecotoxicidade, carcinogênicos, radiação, aquecimento global, acidificação, eutrofização, combustíveis fósseis, efeitos respiratórios orgânicos e inorgânicos. O estudo permitiu concluir que há diminuição de 27,1% dos impactos ambientais no cenário alternativo.

De Andrade (2014) aplicou a ACV para a gestão de resíduos sólidos no Centro de Tecnologia (CT) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, que faz uso do programa de coleta seletiva. Foram analisados três cenários, sendo o primeiro considerando o quadro atual de gestão, o segundo (otimista) considerando a máxima eficiência da coleta seletiva e triagem e, o terceiro (pessimista) considerando a não ocorrência de coleta seletiva. Ao comparar os cenários, conclui-se que há uma redução atual de 15% dos impactos ambientais, em relação a não existência de coleta seletiva e, uma possibilidade de redução de 28% do nível de impacto atual se o programa alcançar a eficiência máxima.

3. METODOLOGIA

De acordo com as definições de Gerhardt & Silveira (2009), o presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa descritiva, abordagem quali-quantitativa e procedimentos bibliográficos, documentais e de campo.

3.1 Caracterização da área

A área de estudo (Anexo 1) são os bairros atendidos pelo núcleo de coleta seletiva do Bairro dos Estados (ou 13 de Maio) no município de João Pessoa-PB: Torre, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, 13 de Maio e parte do Bairro dos Ipês e de Mandacaru, totalizando 11.537 residências (IBGE, 2010). A associação de catadores responsável pela coleta seletiva neste núcleo é a ASTRAMARE.

O prédio do núcleo em estudo, localizado na Avenida Espírito Santo - s/n - Bairro dos Estados, é de propriedade da EMLUR e possui 16 catadores, onde cada um possui sua baia para separação dos materiais recicláveis (Figuras 5 e 6). O número de associados, como citado anteriormente, é variável devido às desistências e adesões, que o projeto está suscetível e, o lucro de cada associado é dado por produção, segundo informações obtidas pelo coordenador do núcleo.

Para o estudo da ACV da coleta seletiva dessa área, foram considerados o material coletado pelo núcleo de coleta seletiva do Bairro dos Estados e o material coletado na Central de Triagem localizada próximo ao aterro sanitário, referente aos bairros em estudo.

Figura 5 - Núcleo da coleta seletiva do Bairro dos Estados no município de João Pessoa.



Fonte: Autora, 2017.

Figura 6 - Instalações internas do núcleo do Bairro dos Estados.

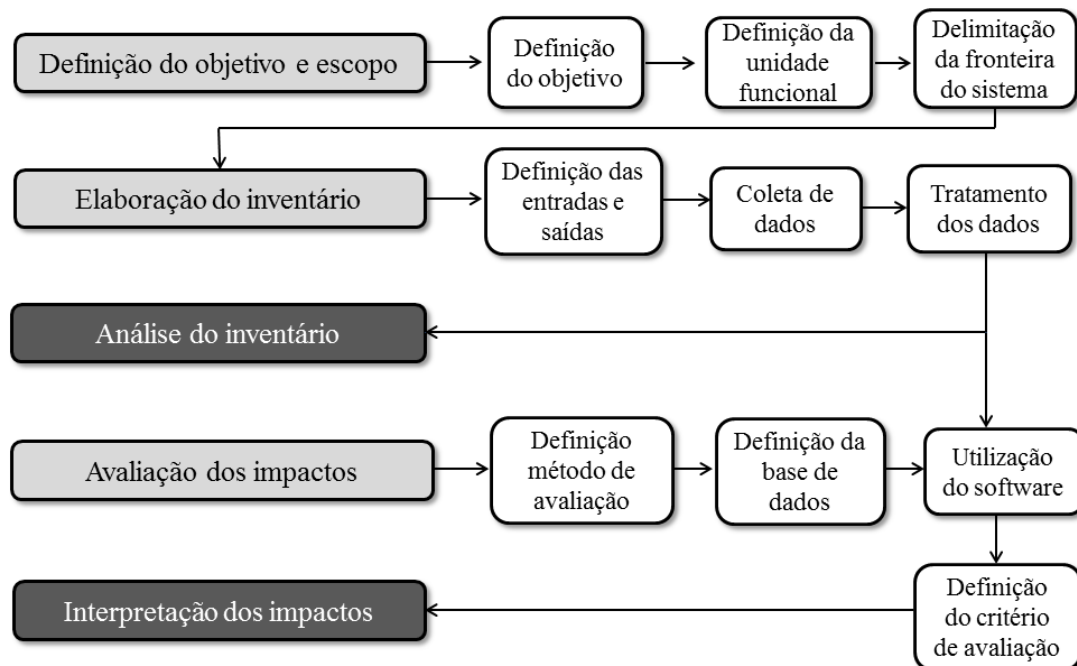


Fonte: Autora, 2017.

3.2 Metodologia aplicada à Análise do Ciclo de Vida (ACV)

A metodologia utilizada segue as recomendações da norma ABNT ISO 14.040 (2014), descritas no item 2.6. As etapas da aplicação da ACV estão ilustradas na Figura 7, destacando as etapas de “análise do inventário” e “interpretação dos impactos” a serem discutidas no item 4.1 e 4.2, respectivamente.

Figura 7- Etapas da Aplicação da ACV.



Fonte: Autora, 2017.

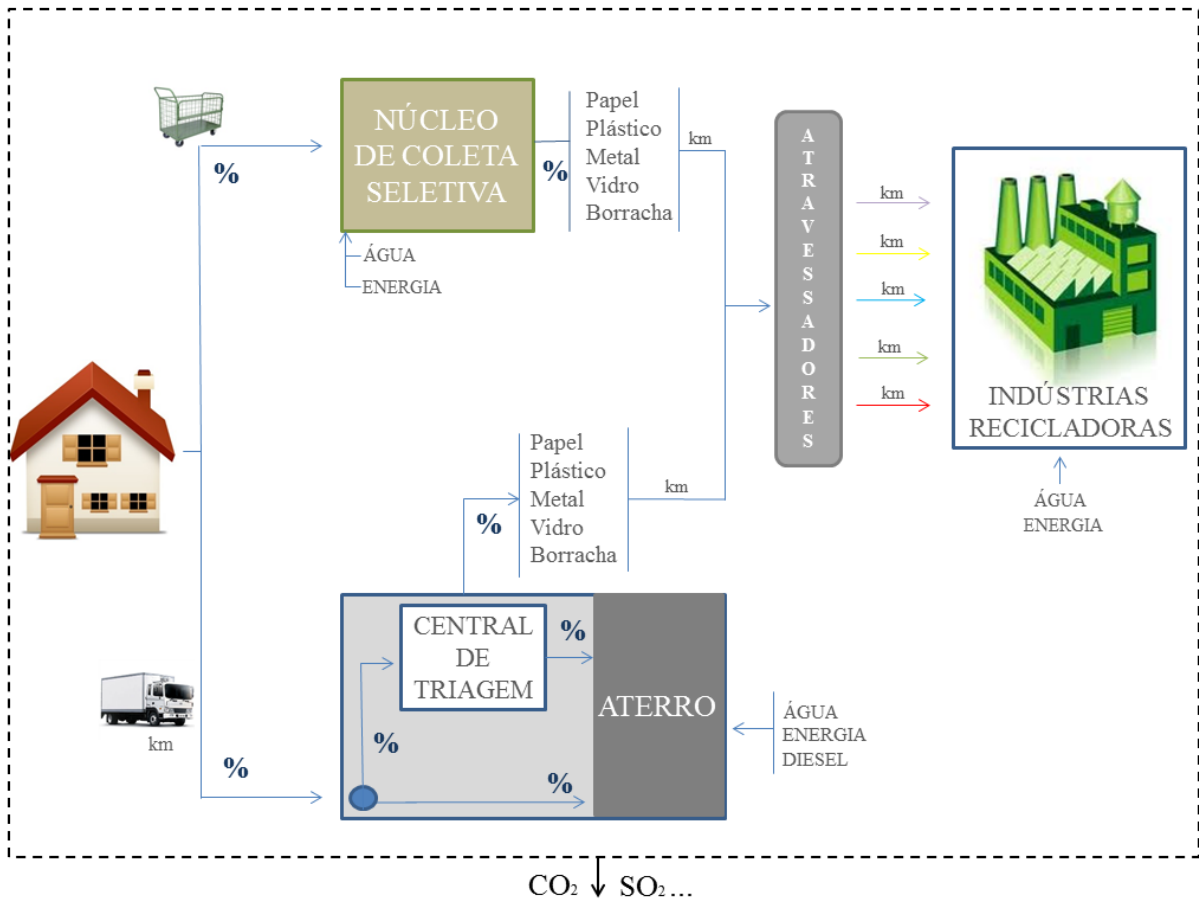
3.2.1 Definição do objetivo e escopo

O objetivo do uso da ACV consistiu em analisar os impactos gerados pela coleta seletiva dos resíduos domiciliares realizada nos bairros abrangidos pelo núcleo do Bairro dos Estados, no intuito de auxiliar a gestão de resíduos sólidos do município, identificando os entraves e potencialidades nas etapas envolvidas no sistema. Além disso, essa ferramenta é incisivamente recomendada na PNRS como instrumento de análise e otimização de sistemas e produtos. Com isso, esta pesquisa se destina ao setor acadêmico, EMLUR do município de João Pessoa e a comunidade pessoense.

Como solicita a referida norma, a unidade funcional deve ser adequadamente definida e mensurável para servir de unidade de referência para os dados de entrada e saída. A unidade funcional, portanto, foi definida como uma (01) tonelada de resíduo sólido doméstico coletado.

A fronteira do sistema inicia-se na origem da geração dos resíduos (residências dos bairros estudados) e termina no destino dado a esses resíduos (reciclagem ou aterramento). Ao ser descartado, o resíduo pode ser recolhido pela coleta domiciliar indiferenciada (convencional) e ser encaminhado diretamente ao ASMJP (onde há a possibilidade de passar pela central de triagem ou não) ou pela coleta seletiva, dependendo da maneira de como o material é acondicionado e/ou da existência de segregação. Quando sob o manuseio dos catadores da coleta seletiva, os resíduos são levados as suas instalações, onde há separação, seleção e processamento dos materiais (prensagem, enfardamento, etc) para serem vendidos aos atravessadores, que revendem às indústrias recicladoras. Os atravessadores intermediam esse processo devido a maior estruturação dos seus galpões, que permitem atender a demanda solicitada pelas indústrias, e aos transportes adequados. A Figura 8 mostra os limites do sistema e os subsistemas envolvidos na ACV da coleta seletiva dos bairros estudados.

Figura 8 – Limites do sistema da Análise de Ciclo de Vida (ACV) aplicada à coleta seletiva dos resíduos sólidos domiciliares do Bairro dos Estados, Torre, Pedro Gondim, 13 de Maio e parte do Bairro dos Ipês e Mandacaru.



Fonte: Autora, 2017.

3.2.2 Elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Como parte da elaboração do ICV, foi preciso estabelecer as entradas e saídas dos subsistemas. Algumas considerações a respeito de cada subsistema são descritas a seguir:

- No núcleo do Bairro dos Estados e Central de Triagem, o consumo de água (m^3/t) e energia elétrica (kWh/t) são devidos, principalmente, ao tratamento dado aos materiais para adequado acondicionamento para venda, como a lavagem e prensagem.
- No aterro, o consumo interno de combustível (l/t) ocorre por conta das máquinas responsáveis pelo aterramento e compactação dos resíduos. Com relação à saída deste subsistema, tem-se que a quantidade e composição do lixiviado e do biogás gerado variou de acordo com classificação e origem dos resíduos.

- No setor de transporte e coleta, para o cálculo do consumo do combustível em l/t, considerou-se o tipo de veículo, distância percorrida, consumo vazio e carregado (ida e volta) e a quantidade de resíduos transportados (em toneladas) nos diferentes percursos.
- No setor de reciclagem, os materiais reciclados produzidos são contabilizados como substitutos daqueles que seriam produzidos da matéria-prima virgem, proporcionando benefício ambiental para o sistema.

Para coleta de dados do ICV, os procedimentos executados foram:

- Levantamento junto a EMLUR da quantidade coletada de resíduos sólidos domiciliares na área estudada no ano de 2015.
- Levantamento da quantidade vendida aos atravessadores de cada tipo de material (papel/papelão, plástico, metal, vidro e borracha) pelo núcleo do Bairro dos Estados e pela Central de Triagem (referente aos bairros estudados), disponibilizada pela EMLUR.
- Levantamento dos consumos de água, energia e diesel em todas as instalações (núcleo, central de triagem, aterro, galpão e indústrias recicladoras) e pelos veículos dos atravessadores e da coleta indiferenciada. Dados obtidos através da EMLUR, literatura, conversas informais com coordenadores dos núcleos sobre o tipo de caminhão e estimativas a respeito da quilometragem percorrida.

Após obtenção dos dados, foi preciso organizá-los de maneira que resultasse no valor final de RDO encaminhado para cada instalação. Conhecendo-se os valores vendidos aos atravessadores e, considerando que somente uma parcela dos materiais coletados pelos catadores está passível de venda, um percentual de eficiência na triagem dos materiais foi assumido nos valores de 97,50% para o papel/papelão, 80% para plástico, 90% para metal e vidro e 100% para borracha (RIGAMONTI et al, 2009), obtendo-se assim o valor de RDO coletado pelos catadores na origem e no ASMJP. A parcela considerada rejeito segue para disposição em aterro sanitário e soma-se ao montante descartado na origem que foi encaminhado diretamente a este local. Para cada indústria recicladora, foi utilizada a quantidade de resíduos vendidos aos atravessadores, já que não há perda neste percurso.

3.2.3 Avaliação dos impactos

A avaliação dos impactos deu-se através da análise dos resultados gerados por meio da inserção dos dados do inventário no software SimaPro 8.1 desenvolvido por PréConsultants (2013), considerando que desde que foi introduzido é o mais utilizado em análises ambientais. (CAMPOLINA, 2015).

O método de avaliação escolhido foi o CML-IA baseline versão 3.00/World 2000, desenvolvido na Holanda, mas de aplicação global. Esse método avalia até o nível *midpoint* (discutido no item 2.6) e dentre as 11 categorias de impacto avaliadas foram selecionadas cinco: eutrofização, acidificação, oxidação fotoquímica, redução da camada de ozônio e aquecimento global. Tanto o método quanto as variáveis escolhidas estão presentes na maioria dos estudos sobre ciclo de vida de gestão de resíduos sólidos conforme relatam Laurent et al. (2014). O banco de dados utilizado foi o Ecoinvent (2015), pois possui uma ampla gama de dados, atualização regular, alcance internacional e podem ser editados e ampliados (CAMPOLINA, 2015).

Como as bases de dados foram desenvolvidas em grande parte dentro do contexto suíço, algumas alterações foram feitas para adaptar para realidade brasileira. Algumas substituições foram feitas, como: matriz energética suíça pela brasileira (Tabela 1), as distâncias e características dos transportes, a produção e composição do biogás e lixo produzido no aterro sanitário por cada tipo de material segundo as classificações de McDougall et al (2001).

Tabela 1- Composição da matriz energética em 2010.

Matriz energética brasileira (2010)	
Petróleo e derivados	38%
Gás natural	10%
Carvão mineral e coque	5%
Urânio	1%
Hidráulica e eletricidade	14%
Biomassa	28%
Outras renováveis	4%

Fonte: Calijuri e Cunha, 2013.

Cada categoria analisada utiliza como unidade de medida um composto, que apresenta em valores (kg equivalentes) as emissões geradas pelo sistema em estudo. O Quadro 2 mostra as categorias estudadas e as unidades correspondentes.

Quadro 2- Unidades correspondentes às categorias de impacto.

Acidificação	Eutrofização	Oxidação fotoquímica	Redução da camada de ozônio	Aquecimento global
kg SO ₂ eq	kg PO ₄ eq	kg C ₂ H ₂ eq	kg CFC ₋₁₁ eq	kg CO ₂ eq

Fonte: Bovea et al., 2010.

Segundo Foolmaum e Ramjeeawon (2013), os benefícios ambientais líquidos podem ser identificados nos valores negativos das emissões das categorias previamente escolhidas, ou seja, quanto maior os valores negativos, maiores são as emissões evitadas dentro da fronteira do sistema.

O sistema foi subdividido em setores para facilitar visualização dos pontos críticos, os quais são responsáveis muitas vezes pela ineficiência do sistema. Os setores identificados são: coleta indiferenciada (CI), núcleo (N), central de triagem (CT), aterro sanitário (AS), transporte (T) e reciclagem (R).

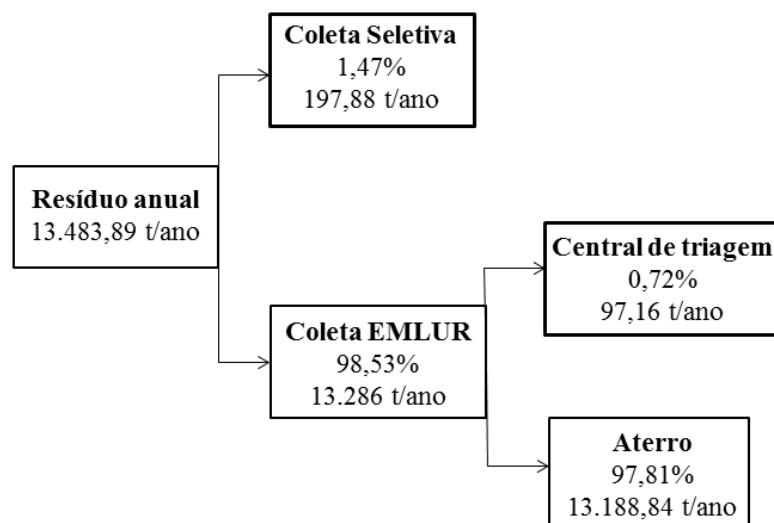
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (IVC)

Segundo dados solicitados na EMLUR, os RDO coletados nos bairros estudados, em 2015, foi de 13.483,89 toneladas, equivalente a 5,44% do total coletado no município de João Pessoa naquele ano, que foi 247.818,95 toneladas. A nível dos bairros em estudo, os resíduos foram recolhidos pela coleta seletiva em menor proporção (1,47%), enquanto a maior parte foi recolhida pela coleta indiferenciada (convencional) realizada pela EMLUR (98,53%) e encaminhada ao aterro sanitário, onde passou por uma central de triagem (CT), que utiliza como critério o bairro de origem do caminhão, sendo selecionada uma pequena parcela (0,72%) dos RDO coletados. Todo o restante tem como destino o aterramento (97,81%), tendo em sua composição tanto resíduos orgânicos quanto os potencialmente recicláveis que deixaram de ser reaproveitados. No total, os materiais recicláveis coletados no núcleo e central de triagem correspondem a apenas 2,19% do total de resíduos coletados na origem. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2017), 4,7% dos resíduos domiciliares foram coletados seletivamente, em 2015, no Brasil, ou seja, a quantidade coletada no núcleo do Bairro dos Estados encontra-se consideravelmente abaixo da média nacional, esta já se configurando em valor insatisfatório.

Acrescenta-se o fato de que não é todo o resíduo coletado pela coleta seletiva que é vendido, pois este depende das condições em que foram acondicionados para não perderem seu valor de venda (caso se encontrem sujos, amassados, etc.), então, ao considerar os percentuais de eficiências para os diferentes tipos de resíduos (ver item 3.2.2), verifica-se que os materiais recicláveis que realmente chegam às indústrias recicladoras são somente 1,94% (Figura 9).

Figura 9 – Resumo quantitativo do destino dos resíduos coletados nos bairros estudados.



Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela EMLUR, 2016.

Como dados de entrada, também foi necessário conhecer a composição final do material aterrado, que inclui o resíduo descartado nos bairros que não foram recuperados pela coleta seletiva e o rejeito das instalações da coleta seletiva (núcleo e central de triagem) (Tabela 4). Destaca-se a categoria “Outros”, pois se refere ao montante que foi descartado nos bairros e não recuperado pelo programa de coleta seletiva e que também não é matéria orgânica (responsável por 54% do total aterrado). Essa classificação foi baseada na metodologia apresentada por McDougall et al. (2001).

Tabela 2 - Composição final encaminhada ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa.

Materiais	Percentual (%)	Peso (t/ano)
Matéria orgânica	54,00*	7281,30
Papel	0,02	3,06
Plástico	0,19	25,54
Metal	0,02	2,87
Vidro	0,01	1,50
Borracha	0,00	0,00
Outros	43,81	5907,54
Total	98,06	13221,81

Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela EMLUR, 2016.

*composição gravimétrica do ano 2011, considerando a matéria orgânica, resíduo verde e um percentual de resíduo oriundo de higiene pessoal.

Como parte da análise do ICV, foi necessário também identificar a quantidade total de cada material vendido no núcleo e central de triagem, porque para cada categoria analisada (papel, plástico, metal, vidro e borracha), existem atravessadores localizados em diferentes pontos do município, que encaminham o montante estocado à empresa recicladora correspondente. Na Tabela 3, pode-se observar que a maior parte dos recicláveis coletados é o papel/papelão, representando 45,6%, seguido do plástico (39%), metal (9,9%), vidro (5,1%) e borracha (0,4%). Percebe-se uma quantidade maior de resíduo recolhido no núcleo do Bairro dos Estados do que na CT, fato que pode estar relacionado ao grau de mistura e compactação dos resíduos que chegam ao aterro sanitário, dificultando a triagem realizada pelos catadores. Soma-se a isso o fato de que a CT não recupera os resíduos recicláveis oriundos apenas dos bairros em estudo como também os de outros bairros do município, acarretando em um grande volume de resíduos para triagem.

Tabela 3- Quantidade de resíduos recicláveis vendidos aos atravessadores em 2015, em % e em toneladas.

Materiais	Núcleo (t)	Central de triagem (t)	Total (t)	%
Papel	78,16	41,33	119,49	45,6
Plástico	71,12	31,03	102,15	39,0
Metal	15,33	10,49	25,82	9,9
Vidro	10,29	3,20	13,48	5,1
Borracha	0,36	0,77	1,12	0,4
TOTAL	175,25	86,82	262,08	100,0

Fonte: EMLUR, 2016.

Quanto à análise do setor de transporte e coleta, o trajeto realizado pela coleta seletiva da origem até o núcleo é feita por veículos de tração humana com 3 ou 4 rodas e capacidade de 120 quilogramas, por isso, não há consumo de diesel e também não há emissão de gases para a atmosfera.

A coleta indiferenciada realizada pela EMLUR é feita por caminhões compactadores de capacidade de 16 toneladas e com consumo de 0,33 l/km. Considerando as distâncias percorridas dentro dos bairros em estudo (172,6km) e até o aterro (24km) juntamente com o peso dos resíduos transportados, o consumo desse caminhão é dado por 2,69 l/t.

Os atravessadores de cada material transportam os resíduos em um caminhão do tipo Mercedes-Benz 1113, com capacidade de 11 toneladas, recolhendo-os no núcleo e na central de triagem e levando-os às indústrias recicladoras. Foi considerado um consumo de 0,222 l/km (vazio) e 0,244 l/km (carregado) para o veículo no percurso núcleo-atravessador e

central de triagem-atravesador. Percebe-se que as distâncias e consumos de diesel são maiores para a CT do que para o núcleo do Bairro dos Estados (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Distâncias e consumos no percurso núcleo do Bairro dos Estados aos atravessadores.

Materiais	Distância Núcleo – Galpões (km)	Consumo (l/t)
Papel	5,4	0,229
Plástico	5,4	0,229
Metal	11,3	0,479
Vidro	3,9	0,165
Borracha	5,2	0,220

Fonte: Autora, 2017.

Tabela 5 - Distâncias e consumos no percurso da Central de Triagem aos atravessadores.

Materiais	Distância Central de Triagem - Galpões (km)	Consumo (l/t)
Papel	18,1	0,767
Plástico	18,5	0,784
Metal	15,8	0,670
Vidro	19,7	0,835
Borracha	25,6	1,085

Fonte: Adaptado de Garcia, 2016; Martins, 2017.

Pode-se enfatizar que os resíduos recicláveis recuperados no núcleo em estudo e na CT foram gerados na mesma origem, mas percorrem caminhos distintos para serem triados e, conseqüentemente, demandam duas rotas adicionais realizadas pelos atravessadores para serem armazenados em seus galpões. Diante destas constatações, infere-se a existência de uma ineficiência no sistema de coleta seletiva do município, que em termos conceituais, segundo SNIS (2017), tem como requisito os resíduos serem previamente separados na origem. No entanto, o que se observa é uma tentativa de recuperá-los em meio à massa misturada de resíduos.

As indústrias que compram esses materiais são mostradas na Tabela 6, como também as distâncias estimadas entre os atravessadores e indústrias recicladoras. Constata-se que três são localizadas em outros municípios, fato que corrobora para o aumento do impacto ambiental do sistema em estudo. Foi considerado um consumo de 0,204 l/km (carregado) e 0,182 l/km (vazio).

Tabela 6- Distâncias, consumo e localização das indústrias recicladoras.

Material	Indústria Recicladora	Localização	Distância (km)	Consumo (l/t)
Papel	Compel	Natal (RN)	179	6,280
Plástico	Petromix	João Pessoa (PB)	15,8	0,554
Metal	Gerdal	Recife (PE)	122	4,245
Vidro	Owens Illinois	Recife (PE)	121	4,280
Borracha	Recipol	João Pessoa (PB)	6,8	0,239

Fonte: Adaptado de Araújo, 2015; Garcia, 2016; Martins, 2017.

Considerou-se que os resíduos transportados no caminhão dos atravessadores utilizam a máxima capacidade do veículo.

Os consumos de água e energia por tonelada nas instalações estão sintetizados na Tabela 7. As informações de consumo contidas nas contas de água e energia do núcleo para o ano de 2015 não foram disponibilizadas pela EMLUR, sendo portanto, utilizadas as do ano de 2014, considerando que não há significativa variação de um ano para outro.

Os dados de eletricidade disponibilizados pela concessionária do ASMJP não estavam desvinculadas da central de triagem. Portanto, foi atribuído um percentual de utilização para o aterro e outro para central de triagem, sendo o aterro em menor proporção por se considerar apenas a demanda do escritório. Dentro do aterro sanitário houve consumo de diesel de 0,01 l/t.

Para o galpão dos atravessadores, não foi considerado consumo de água e energia, uma vez que o local é utilizado apenas para armazenamento dos materiais recicláveis coletados, não havendo necessidade de qualquer forma de processamento (prensagem, enfardamento, trituração, etc.). Os consumos das indústrias recicladoras são baseados em Calderoni (1998), que aponta as reduções de consumo de energia trazidas pela reciclagem, quando comparadas ao da fabricação a partir de matéria-prima virgem.

Tabela 7 – Consumo de energia (kWh/t) e água (m³/t) nas instalações.

Instalação	Energia (kWh/t)	Água (m ³ /t)
Núcleo Bairro dos Estados	13,6	0,48
Central de triagem	56,68	0,87
Aterro	0,041	-
Galpão	-	-
Indústria Recicladora - Plástico	4190	0,4
Indústria Recicladora - Papel	750	2
Indústria Recicladora - Metal	1000-2500	24000
Indústria Recicladora - Vidro	1440	20

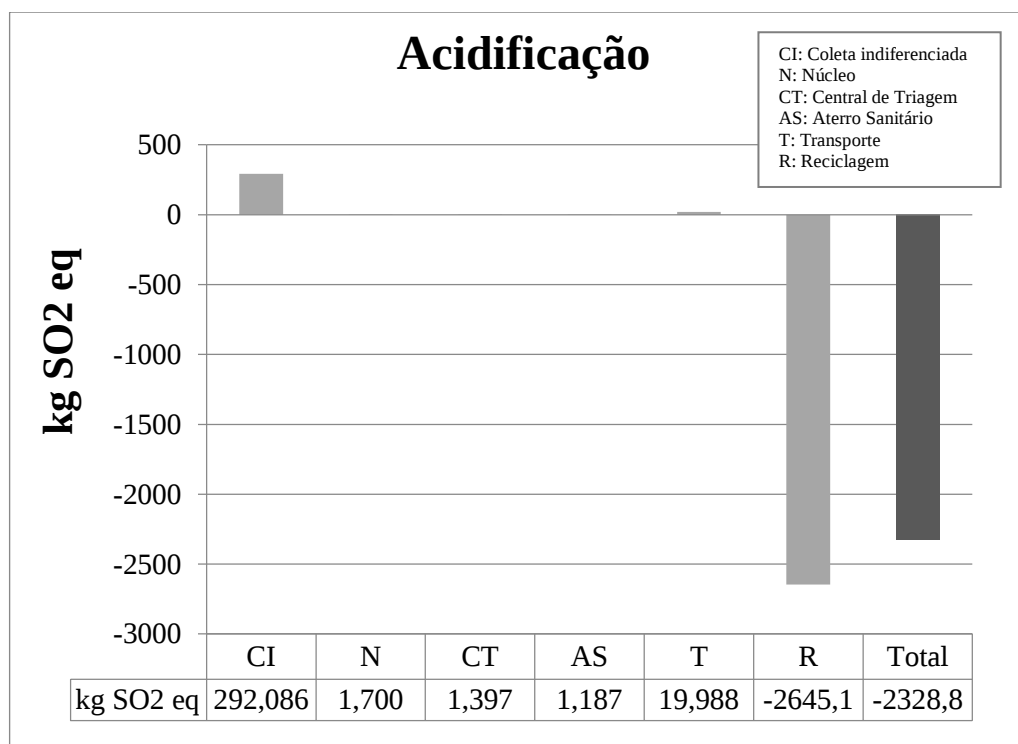
Fonte: Baseado em dados disponibilizados pela EMLUR, 2016; Calderoni, 1998.

4.2 Interpretação dos impactos

4.2.1 Acidificação

A acidificação acontece quando substâncias como o dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x) são emitidas para o ar e se dissolvem na água da chuva, formando ácidos que, ao atingirem o solo e a água, alteram sua composição química natural, pela diminuição do pH, ocasionando perda de vida e danos em materiais metálicos e edificações. A principal fonte do SO_2 provém da queima de combustíveis fósseis como o carvão e o óleo combustível nos processos industriais (MOURAD et al, 2002). Com base nisso, pode-se verificar que o benefício ambiental líquido foi negativo para categoria de acidificação (Figura 10). Justamente devido às emissões evitadas na etapa da reciclagem, que por sua vez, requer menor consumo de energia para a produção de materiais reciclados do que para a produção de materiais oriundos de matéria-prima virgem. Portanto, fica evidente que, para esta categoria, a reciclagem (R) compensou as emissões de SO_2 geradas pela queima dos combustíveis nos transportes utilizados na etapa da coleta indiferenciada (CI) e transporte (T).

Figura 10– Emissões referentes à categoria de acidificação provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.

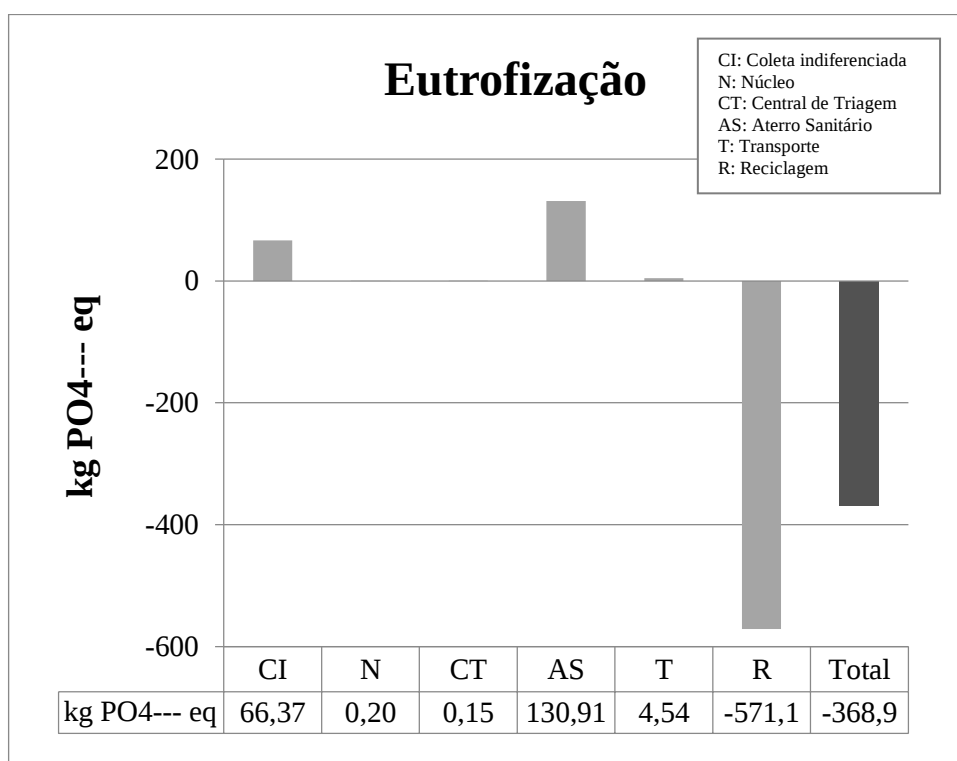


Fonte: Autora, 2017.

4.2.2 Eutrofização

A eutrofização ocorre quando há um aumento de nutrientes no solo ou na água, que propicia o aumento da biomassa na água e, conseqüentemente, a diminuição do oxigênio disponível, atingindo a vida aquática. A carga nutritiva recebida pelos corpos hídricos pode vir de variados compostos, porém o nitrogênio e o fósforo merecem maior atenção devido à ocorrência e propensão de impacto a essa categoria. Substâncias como amônia (NH_3), nitratos, nitritos, compostos nitrogenados, óxidos de nitrogênio (NO_x), fosfatos, resíduos de alimentos, óleos e gordura também são derivados desses compostos (MOURAD et al, 2002). O lixiviado produzido na etapa do aterro sanitário (AS) é um forte contribuinte para emissões de PO_4^{3-} , devido ao seu elevado teor nutritivo, mas não suficiente para superar as emissões evitadas trazidas pela etapa de reciclagem - R (Figura 11).

Figura 11 – Emissões referentes à categoria de eutrofização provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.

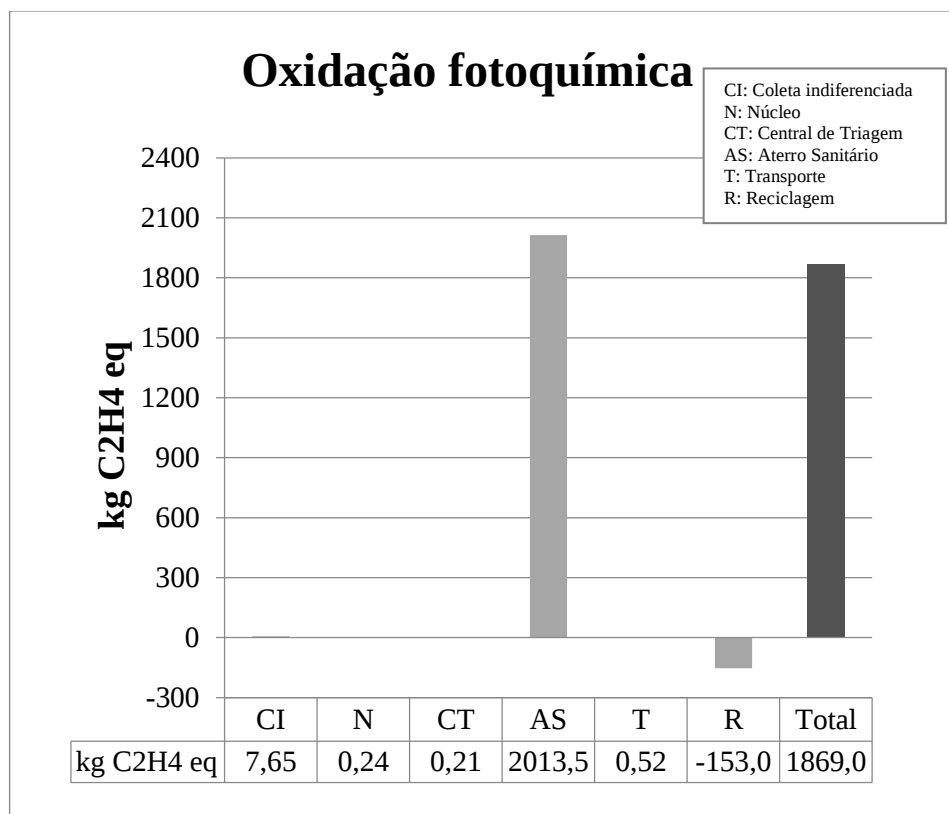


Fonte: Autora, 2017.

4.2.3 Oxidação fotoquímica

A oxidação fotoquímica acontece quando substâncias orgânicas voláteis reagem com óxidos de nitrogênio (NO_x), sob efeito dos raios ultravioletas, produzindo compostos oxidantes fotoquímicos, responsáveis por causar doenças respiratórias, principalmente nos grandes centros urbanos, onde a fumaça fotoquímica oxidante se concentra em nuvens de difícil dissipação (MOURAD et al, 2002). Observa-se que a etapa do aterro sanitário (AS) é massivamente responsável por emitir o hidrocarboneto etileno/eteno (C_2H_4) e colocar a categoria de oxidação fotoquímica em situação desfavorável no sistema estudado (Figura 12). É importante destacar que dentro da etapa de aterro sanitário (AS), 99,91% das emissões tem origem na matéria orgânica aterrada, sendo o restante oriundo das categorias de papel, plástico, vidro, metal e outros. De acordo com os cenários estudados por Bovea et al (2010), as emissões pelo aterramento podem ser reduzidas em cerca de 50% se houver a recuperação energética no aterro sanitário, tendo em vista que se evitaria a produção de energia proveniente de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, a emissão de C_2H_4 na atmosfera.

Figura 12– Emissões referentes à categoria de oxidação fotoquímica provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.



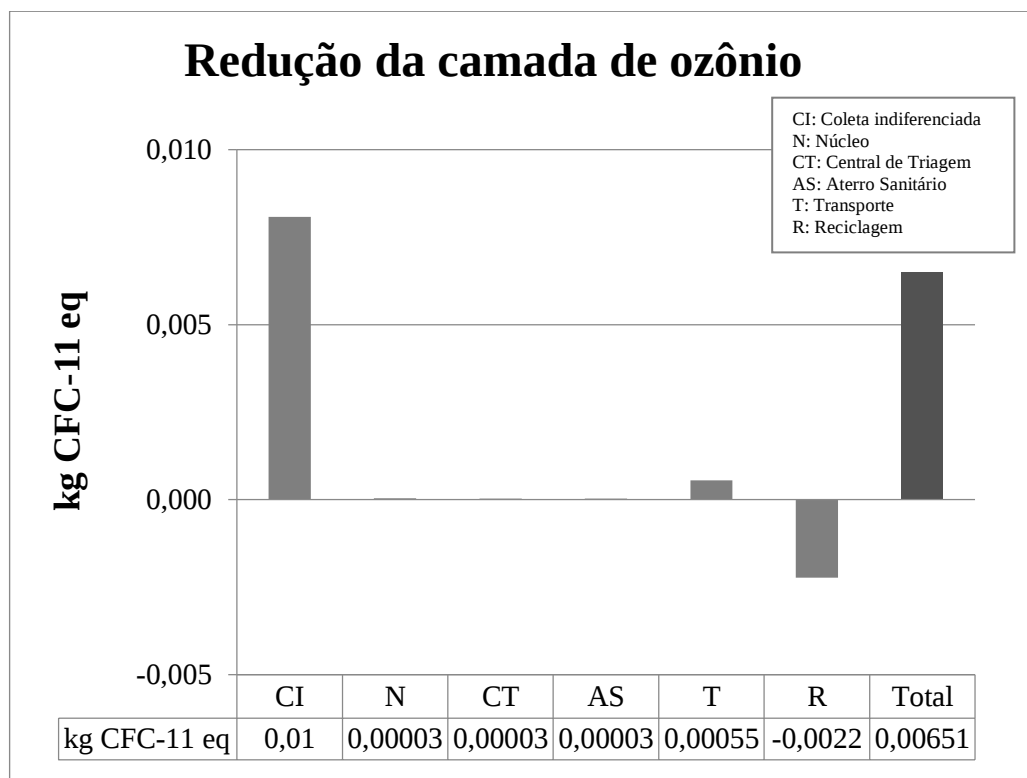
Fonte: Autora, 2017.

4.2.4 Redução da camada de ozônio

A camada de ozônio, situada entre 20 e 35km de altitude na estratosfera, funciona como um filtro de proteção à radiação ultravioleta (UV). Porém, constatou-se que esta camada, originalmente com 15km de espessura, é suscetível à diminuição ao reagir com compostos como os cloroflourcarbonos (CFCs), que provoca casos de câncer de pele e doenças oculares, devido à exposição aos raios UV. Estes compostos passaram a ser proibidos nos países, pois eram usados como propolentes em alguns tipos de aerossóis, em mistura de agente expensor para plástico, em chips de computadores, solventes utilizados na indústria eletrônica e, principalmente em aparelhos de refrigeração, como geladeira e ar condicionado (MOURAD et al, 2002).

Constatou-se que os setores que mais impactaram a camada de ozônio foram a coleta indiferenciada (CI) e o transporte (T) dos materiais recicláveis, não tendo sido as emissões evitadas pela reciclagem (R) suficiente para gerar benefício ambiental líquido para esta categoria (Figura 13). Em contrapartida, Bovea et al (2010) mostrou que, apesar dos impactos negativos dos setores de coleta e transporte nesta categoria, a quantidade de materiais encaminhada para reciclagem compensaram os impactos negativos. Isto se explica porque os cenários consideravam uma parcela de materiais recicláveis consideravelmente maior (31,74%) do que a observada no núcleo do Bairro dos Estados.

Figura 13 – Emissões referentes à categoria de redução da camada de ozônio provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.



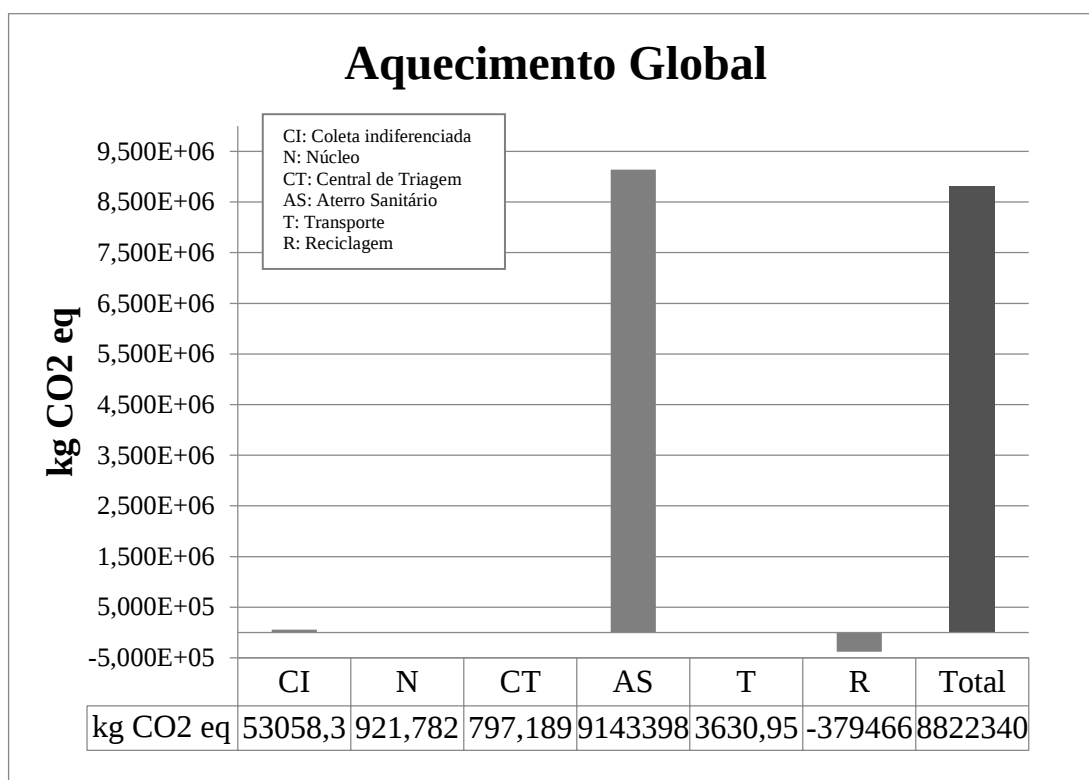
Fonte: Autora, 2017.

4.2.5 Aquecimento global

O termo aquecimento global está associado à potencialização do efeito estufa natural, que é essencialmente benéfico, pois a passagem de radiação solar através dos gases presentes na atmosfera e, posterior absorção parcial do calor emitido pela superfície aquecida da Terra permite que o planeta tenha temperaturas amenas. Porém, a intensificação desse fenômeno, oriunda do aumento das emissões de gases como o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), compostos orgânicos voláteis (álcoois, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos, etc.), causa aprisionamento de uma quantidade maior de calor, elevando assim, a temperatura média da terra. As fontes de emissão estão principalmente relacionadas ao consumo de combustíveis para produção de calor, energia e no transporte, à degradação de materiais orgânicos que liberam gases como o metano, às emissões de processos industriais que liberam compostos orgânicos voláteis (MOURAD et al, 2002). Na categoria de aquecimento global, as emissões em todas as etapas têm valores mais expressivos do que as emissões das mesmas etapas nas outras categorias (Figura 14), o que demanda maior investigação desta categoria de impacto na procura por melhoria do desempenho ambiental

geral. Como na oxidação fotoquímica, o aterro sanitário (AS) tem contribuição predominante na emissão de CO₂ para atmosfera em relação às outras etapas e também tem 99,91% das emissões deste setor provenientes da decomposição da matéria orgânica aterrada, fazendo-se necessário encontrar alternativas para este tipo de resíduo, como a compostagem, recuperação energética dentro do aterro sanitário ou biodigestores.

Figura 14– Emissões referentes à categoria de aquecimento global provenientes do sistema de coleta seletiva nos bairros de abrangência do núcleo do Bairro dos Estados.



Fonte: Autora, 2017.

5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados permitiu concluir que existe uma baixa taxa de recuperação (1,94%) dos materiais recicláveis provenientes do núcleo de coleta seletiva do Bairro dos Estados no município de João Pessoa - PB. Os principais motivos identificados como causadores de um sistema pouco efetivo são: a baixa colaboração por grande parte dos geradores em separar os materiais recicláveis na origem, dificultando a triagem e reduzindo o potencial de reaproveitamento e de venda; rotas ineficientes; tímida presença de um mercado de reciclagem consolidado local, tendo alguns tipos de materiais sido vendidos a indústrias de outras cidades.

Dentre as categorias analisadas, apenas a acidificação e eutrofização obtiveram benefícios ambientais líquidos, sendo, portanto, a quantidade reciclada suficiente para compensar as emissões geradas nas etapas de coleta, núcleo, central de triagem, transporte e aterro sanitário. As categorias de oxidação fotoquímica, redução da camada de ozônio e aquecimento global apresentaram impacto geral negativo. A categoria de redução da camada de ozônio gerou maior emissão nos setores de coleta e transporte, enquanto a oxidação fotoquímica e o aquecimento global no aterro sanitário. Para melhoria deste cenário, observou-se a necessidade de aumentar a parcela de material enviada à reciclagem, otimizar a logística do sistema e encontrar alternativas para aproveitamento da quantidade expressiva de matéria orgânica presente na massa de resíduos.

Sugere-se a realização de campanhas permanentes e contínuas de educação ambiental para maior engajamento da sociedade na separação dos resíduos recicláveis associado à divulgação de calendário dos dias de coleta seletiva por bairros; fortalecimento econômico das associações de catadores a fim de se tornarem autossustentáveis e livres do intermédio dos atravessadores.

Propõe-se também a realização de estudos de viabilidade econômica da reciclagem a fim de estimular instalação de novas indústrias para aumento da concorrência de mercado; simulações de cenários aplicadas a Análise de Ciclo de Vida (ACV), analisando o impacto gerado com a diminuição das distâncias entre as instalações e o aumento do percentual reciclado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – **Avaliação do ciclo de vida** – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas Pública e Resíduos Especiais, 2008. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2008.pdf>>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015**. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas Pública e Resíduos Especiais, 2015. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

ARAÚJO, M. G. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

ARAÚJO, E. S. de. **Diagnóstico socioambiental e ACV da coleta seletiva. Estudo de caso: núcleo Cabo Branco - João Pessoa/PB-Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal da Paraíba, 2015.

BESSEN, G. R.; RIBEIRO, H.; GÜNTHER, W. M.; JACOBI, P. R. **Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo: impactos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. *Ambiente & Sociedade*, 17(3), 259-278, 2014.

BOVEA, M. D.; IBÁÑEZ-FORÉS, V.; GALLARDO, A.; COLOMER-MENDOZA, F. J. **Environmental assessment of alternative municipal solid waste management strategies. A Spanish case study**. *Waste Management*, v. 30, p. 2383-2395, 2010.

BRASIL. Lei nº 11.107, de 06 de abril de 2005. **Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11107.htm>. Acesso em: 22 de abr. 2017.

_____. Lei 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 20 abr. 2017.

_____. Lei 12.187, de 29 de dezembro de 2009. **Institui a Política Nacional de Mudança Climática- PNMC**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 21 de abr. 2017.

_____. Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 21 fev. 2017.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília. Setembro, 2011.

BRINGHENTI, J. **Coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos: aspectos operacionais e de participação da população**. Tese de doutorado em Saúde Ambiental. São Paulo, 2004.

CALDERONI, S. **Os Bilhões Perdidos no Lixo**. 2ª ed. São Paulo: Humanitas FFLCH/USP. 345 p, 1998.

CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão**. Elsevier Brasil, 2013.

CAMPOLINA, J. M., SIGRIST, C. S. L., e DA SILVA MORIS, V. A. **Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida**. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology* (REGET), 19(2), 735-750, 2015.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Guia da coleta seletiva de lixo**. 2º Ed. São Paulo, 2014.

DE ANDRADE, E. A.T. **Avaliação do ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos: um estudo de caso da coleta seletiva do centro de tecnologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

ECOINVENT. **Ecoinvent Data v2**. Ecoinvent Centre, Swiss Centre for Life Cycle Inventory, 2015.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Life cycle assessment: principles and practice**. US EPA. 2006.

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

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007.

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.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(6): 1503-1510, 2012.

GRIMBERG, E.; BLAUTH, P. **Coleta seletiva: reciclando materiais, reciclando valores**. UNICEF/Pólis, 1998.

GUINEE, J. B.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; ZAMAGNI, A.; MASONI, P.; BUONAMICI, R., EKVALL; T. e RYDBERG, T. **Life cycle assessment: past, present, and future.** *Environmental Science and Technology*, 45(1), 90-96, 2010.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro, 2001.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais. Perfil dos Municípios Brasileiros.** Rio de Janeiro, 2012.

IKUTA, F. A. **Resíduos sólidos urbanos no Pontal do Paranapanema – SP: inovação e desafios na coleta seletiva e organização de catadores.** 2010. 235 p. Il. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. 2010.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico sobre os catadores de resíduos sólidos.** Brasília: Ipea, 2011.

LANZA, V. C. V.; CARVALHO, A. L. de. **Orientações Básicas para a operação de aterro sanitário.** Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM. Belo Horizonte, 2006.

LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILDA, M. Z.; CHRISTENSEN, T. H. **Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: lessons learned and perspectives.** *Waste Management*, v. 34, p. 573-588, 2014.

LI, H.; NITIVATTANANON, V.; e LI, P. **Developing a sustainability assessment model to analyze China's municipal solid waste management enhancement strategy.** *Sustainability*, 7(2), 1116-1141, 2015.

LOPES, A. A. **Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP).** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

MARTINS, W. A. **Avaliação do ciclo de vida do programa de coleta seletiva do município de João Pessoa- PB, Brasil.** 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2017.

MATOS, B. I. L. d. **Avaliação do desempenho ambiental da produção de mobiliário em Portugal.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2012.

MENDES, N.C. **Métodos e modelos de caracterização para a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a aplicação no Brasil.** 2013. 149f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Produção, São Carlos, 2013.

MENDES, N. C.; BUENOS, C.; OMETTO, A. R. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos.** *Production*, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MESQUITA JÚNIOR, J. M. D. **Gestão integrada de resíduos sólidos. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Agenda 21: Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/606-cap%C3%ADtulo-4?tmpl=component&print=1>>. Acesso em: 27 abr. 2017.

_____. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos - Instrumento de Responsabilidade Socioambiental na Administração Pública**, 2014.

MOURAD, A. L; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações.** Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA/PB. **Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa. Volume I – Diagnóstico.** Agosto, 2014. Disponível em: <<http://transparencia.joaopessoa.pb.gov.br/2146/plano-municipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-de-joao-pessoa.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

_____. **Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa. Volume II – Prognóstico e Planejamento dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos.** Agosto, 2014. Disponível em: <<http://transparencia.joaopessoa.pb.gov.br/2146/plano-municipal-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos-de-joao-pessoa.html>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

_____. Decreto nº 8.886, de 23 de dezembro de 2016. **Dispõe sobre a política municipal de resíduos sólidos do município de João Pessoa e da outras providências.** Semanário oficial, João Pessoa, 18 a 24 de dezembro de 2016.

_____. Lei complementar de 02 de Agosto de 2002. **Código Municipal de Meio Ambiente** Disponível em: <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/03/codi_meio_ambi.pdf>. Acesso em: 20 de abr. 2017.

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.

PINHEIRO, P. T.; FRANCISCHETTO, G. P. P. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos como mecanismo de fortalecimento das associações de catadores de materiais recicláveis.** *Derecho y Cambio Social*, 24p, 2016.

PRÉ CONSULTANTS. SimaPro v. 8.1. PRé Consultants, B.V. Amersfoort, The Netherlands, 2013.

RIBEIRO, H.; BESEN, G. R. **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, vol. 2, n. 4, 2006.

RIGAMONTI, L.; GROSSO, M.; SUNSERI, M. C. **Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, p. 411–419, 2009.

ROMANI, A. P. de. **Planos de resíduos sólidos: desafios e oportunidades no contexto da Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Rio de Janeiro: IBAM, 2014.

SCHALCH, V., LEITE, W. C. de A., FERNANDES JÚNIOR, J. L., de CASTRO, M. C. A. **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos.** São Carlos, 2002.

SILVA, S. P.; GOES, F. L.; ALVAREZ, A. R.. **Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável: Brasil.** 2013.

SIQUEIRA, M. M.; de MORAES, M. S. **Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo.** Ciência e saúde coletiva, Vol. 14 n.6, 2009.

SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2015.** Brasília, 2017.

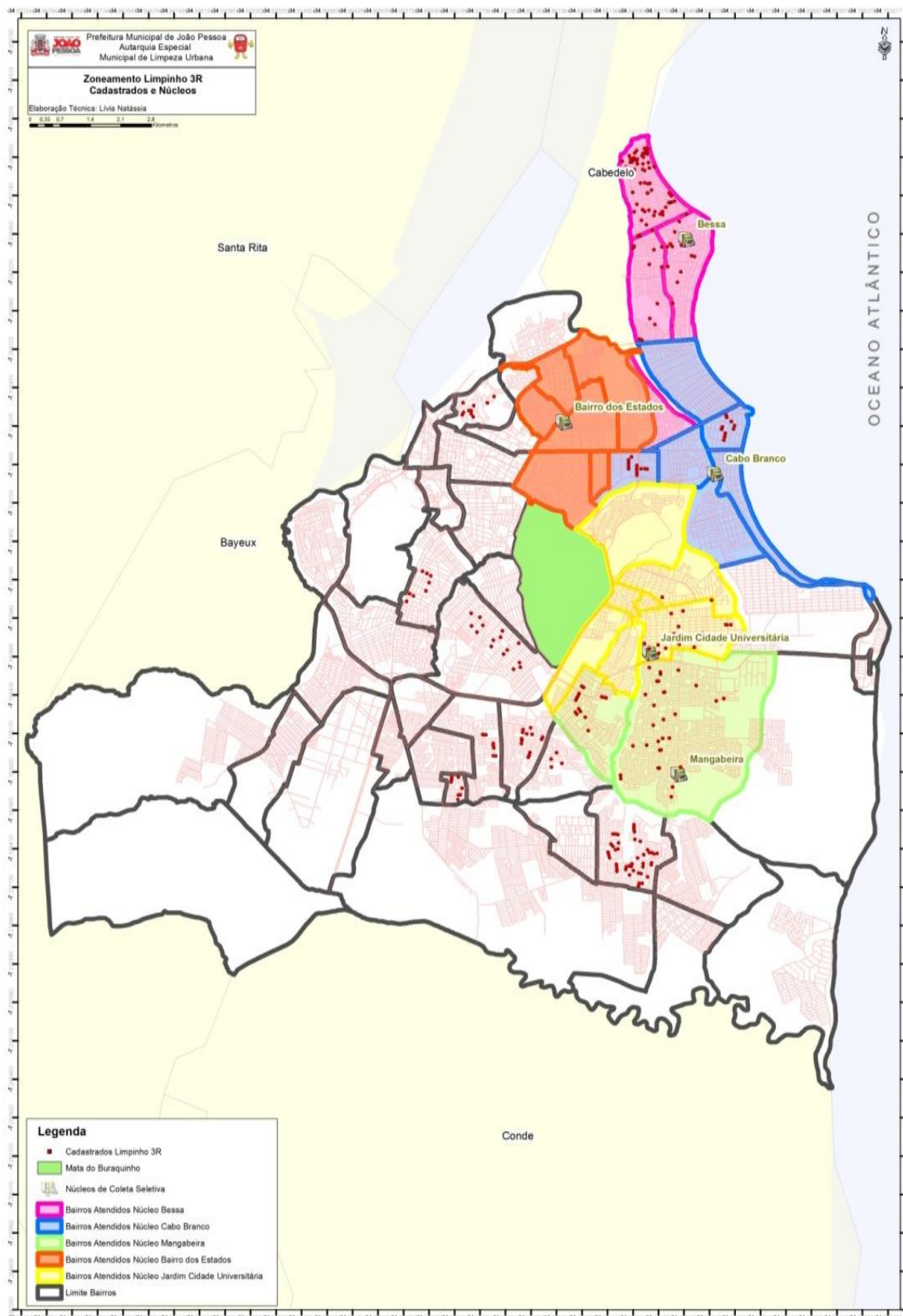
TCU – TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Relatório de auditoria operacional: Monitoramento no Programa Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, 2011.

MCDUGALL, F.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P., **Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory** (second ed.), Blackell Science Ltd., 2001.

XARÁ, S.; ALMEIDA, M. F.; COSTA, C. **Life cycle assessment of alternatives for recycling abroad alkaline batteries from Portugal.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 19, n. 7, p. 1382-1408, 2014.

ANEXOS

ANEXO 1: Mapa de abrangência dos núcleos de coleta seletiva do município de João Pessoa.



Fonte: EMLUR.