

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE

GABRIEL MASSAO FUGII

**PROPOSTA DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS  
APLICADO À GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS  
DOMICILIARES DE CURITIBA**

TESE

CURITIBA  
2019

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E SOCIEDADE

GABRIEL MASSAO FUGII

**PROPOSTA DE UM MODELO DE DINÂMICA DE SISTEMAS  
APLICADO À GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS  
DOMICILIARES DE CURITIBA**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Tecnologia e Desenvolvimento.

Orientador: Prof. Dr. Christian Luiz da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Alain Hernández Santoyo

CURITIBA  
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

---

Fugii, Gabriel Massao

Proposta de um modelo de dinâmica de sistemas aplicado à gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares de Curitiba [recurso eletrônico] / Gabriel Massao Fugii.-- 2019.

1 arquivo texto (246 f.) : PDF ; 5,73 MB.

Modo de acesso: World Wide Web

Título extraído da tela de título (visualizado em 27 jun. 2019)

Texto em português, com resumo em inglês

Tese (Doutorado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Curitiba, 2019

Bibliografia: f. 221-243

1. Tecnologia - Teses. 2. Resíduos industriais - Curitiba (PR) - Estudo de casos. 3. Resíduos industriais - Política governamental - Curitiba (PR). 4. Política pública - Avaliação. 5. Variáveis (Matemática). 6. Análise multivariada. 7. Inovações tecnológicas. I. Silva, Christian Luiz da. II. Santoyo, Alain Hernández. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Sociedade. IV. Título.

---

CDD: Ed. 23 – 600

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba

Bibliotecário: Adriano Lopes CRB-9/1429



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade

---

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TESE Nº 72

A Tese de Doutorado intitulada **Proposta de um modelo de dinâmica de sistemas aplicado à gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares de Curitiba**, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Gabriel Massao Fugii**, no dia **28 de março de 2019**, foi julgada aprovada em sua forma final para obtenção do título de Doutor em Tecnologia e Sociedade, Área de Concentração – Tecnologia e Sociedade, Linha de Pesquisa – Tecnologia e Desenvolvimento, pelo Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade.

### BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Nilton Cesar Lima (UFU)  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Tamara Simone Van Kaick - (UTFPR)  
Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Maclovia Corrêa da Silva - (PPGTEUTFPR)  
Prof. Dr. Jamerson Viegas Queiroz - (UFRN)  
Prof. Dr. Christian Luiz da Silva - (UTFPR) - *Orientador*

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, **28 de março de 2019**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à Deus por ter me guiado até aqui.

Agradeço ao meu orientador Christian Luiz da Silva pela orientação e oportunidade.

Agradeço ao meu coorientador Alain Hernández Santoyo pela orientação e parcerias executas.

À minha namorada Ana Luiza Dorigan de Matos Furlanetto, pelo apoio e compreensão nas horas ausentes.

Agradeço as minhas irmãs Claudia Fugii e Juliana Fugii pela companhia e parcerias.

Agradeço aos meus pais Julia Fugii e Claudio Fugii por toda educação fornecida.

Agradeço à CAPES pela bolsa de estudo e a possibilidade de realizar o doutorado sanduíche no exterior.

À banca de avaliação deste estudo, pelas contribuições e compartilhamento do seu conhecimento.

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade e aos demais docentes por esta etapa.

Por fim, agradeço todos os meus amigos e amigas que vivenciaram o desenvolvimento desta pesquisa.

## RESUMO

FUGII, Gabriel Massao. **Proposta de um modelo de dinâmica de sistemas aplicado à gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares de Curitiba**. 2019. 246 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

A presente pesquisa trabalha com as consequências do atual padrão de vida da sociedade, a qual tem contribuído para o aumento da geração dos resíduos sólidos urbanos. Tal crescimento se tornou um grande problema para a humanidade, pois necessita de formas para o seu equacionamento e disposição ambientalmente segura, preceitos da Lei Federal nº. 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010. A gestão aplicada hoje não consegue atender as prioridades estipuladas pela Lei, sendo caracterizada por não ser eficaz e onerosa, como demonstra a pesquisa que avalia a política municipal da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos das capitais brasileiras. A falta de gestão de resíduos gera uma série de problemas ambientais, sociais e econômicos. Assim, o objetivo geral desta tese foi propor um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos, baseado em dinâmicas de sistemas, a qual visa auxiliar no planejamento e na tomada de decisão. O estudo é descritivo e utilizou entrevistas semiestruturadas, pesquisa bibliográfica e documental como técnicas para obtenção de dados primários e secundários. A elaboração do modelo também seguiu a metodologia da dinâmica de sistemas, que possibilitou a criação do modelo e o estudo de caso de Curitiba. A execução do modelo possibilitou a geração e comparação de cenários futuros, servindo de alternativas para novas ações, as quais seguiram os preceitos da Economia Circular buscando reduzir as quantidades de resíduos (orgânicos e recicláveis) destinados aos aterros sanitários, bem como promover o desenvolvimento econômico e social da cadeia de resíduos sólidos urbanos. A simulação gerou cenários que descreveram um sistema dinâmico das variáveis da cadeia de resíduos sólidos urbanos, permitindo evidenciá-las de acordo com o impacto e influência na evolução do sistema com o passar do tempo. A modelagem do atual modelo e a comparação com cenários futuros alternativos demonstrou a variação do custo de coleta e aterragem da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares e a quantidade final de resíduos destinados ao aterro sanitário. A pesquisa evidenciou que um sistema de tratamento descentralizado dos resíduos úmidos compostáveis somados a melhora das ações já realizadas possibilita alcançar os preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos e da Economia Circular. Tais ações reduzem a quantidade de resíduos destinado para o serviço de gestão municipal, melhoram a segregação dos resíduos na fonte e conseqüentemente a sua reciclagem e tratamento, além de reduzir o desperdício de materiais que seriam destinados para o aterro. Para tanto, o trabalho conclui que os resíduos necessitam ser separados em três tipos: rejeitos, úmidos e secos o que facilitaria no tratamento e aplicação de uma Economia Circular, ou seja, com o reaproveitamento dos resíduos e a redução da demanda por um aterro sanitário. Além da participação da sociedade na reivindicação e aplicação de uma gestão de resíduos sólidos domiciliares com a junção dos tratamentos centralizados e descentralizado para atender as prioridades expostas na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos urbanos. Dinâmica de sistemas. Planejamento e tomada de decisão.

## ABSTRACT

FUGII, Gabriel Massao. **Proposal of a system dynamics model applied to the management of urban solid waste in Curitiba.** 2019. 246 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Sociedade) - Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

The present research deals with the consequences of the current standard of living of society, which has contributed to the increase of urban solid waste generation. Such growth has become a major problem for humanity, since it requires forms for its equation and environmentally safe disposal, under the provisions of Federal Law nº. 12,305, which instituted the Solid Waste National Policy in 2010. The management applied today can not meet the priorities stipulated by the Law, and is characterized by not being effective and costly, as demonstrated by the research that evaluates the municipal policy of urban solids waste integrated management of the Brazilian capitals. The lack of waste management generates a number of environmental, social and economic problems. Thus, the general objective of this thesis was to propose a model of urban solid waste management, based on systems dynamics, which aims to assist in planning and decision making. The study is descriptive and used semi-structured interviews, bibliographic and documentary research as techniques for obtaining primary and secondary data. The elaboration of the model also followed the methodology of the system dynamics, which made possible the creation of the model and the case study of Curitiba. The execution of the model enabled the generation and comparison of future scenarios, serving as alternatives for new actions, which followed the Circular Economy precepts in order to reduce amounts of waste (organic and recyclable) destined to landfills, as well as to promote the economic and social development of the urban solid waste chain. The simulation generated scenarios that describe a system dynamic of urban solid waste chain variables, allowing them to be evidenced according to the impact and influence of the evolution of the system over time. The modeling of the current model and the comparison with alternative future scenarios showed the variation of the cost of collection and landing of the urban solid waste management and the final amount of waste destined to the sanitary landfill. The research evidenced that a system of decentralized treatment of the compostable waste added to the improvement of the already accomplished actions makes possible to reach the precepts of the National Policy of Solid Waste and of the Circular Economy. These actions reduce the amount of waste destined for the municipal management service, improve the segregation of waste at source and consequently its recycling and treatment, as well as reducing the waste of materials that would be destined for the landfill. The study concludes that the waste needs to be separated into three types: tailings, organic and dry waste, which would facilitate the treatment and application of a Circular Economy, that is, the reuse of waste and the reduction of the demand for a sanitary landfill . In addition to the participation of society in the claim and application of a solid household waste management with the combination of centralized and decentralized treatments to attend the National Policy of Solid Waste.

**Keywords:** Urban solid waste management. System dynamics. Planning and Decision making.

## Lista de figuras

Figura 1 - Análise de geração e disposição de resíduos sólidos urbanos .....	28
Figura 2 - Símbolos empregados nos diagramas de Forrester.....	65
Figura 3 - Estrutura do sistema.....	65
Figura 4 - Comportamento gerado a partir o modelo estruturado .....	67
Figura 5 - Processo de Modelagem .....	68
Figura 6 - Estrutura de modelo causal.....	71
Figura 7 - Modelo de simulação desenvolvido.....	72
Figura 8 - O conceito de economia circular .....	93
Figura 9 - O fluxo de recurso através de uma cadeia de valor em uma economia circular.....	96
Figura 10 - Proposta de implementação de Economia Circular .....	99
Figura 11 - Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos .....	112
Figura 12 - Redução de resíduos com base nas fontes geradoras.....	115
Figura 13 - Fluxo para planejamento e racionalização da gestão de resíduos sólidos urbanos .....	116
Figura 14- Sistema genérico de gerenciamento integrado de resíduos sólidos .....	117
Figura 15 - Elementos típicos do gerenciamento de resíduos sólidos em países de baixa ou média renda.....	118
Figura 16 - Modelo Integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos.....	119
Figura 17 - Principais etapas presentes no gerenciamento de resíduos sólidos.....	119
Figura 18 - Exemplos de fluxos de reciclagem informal.....	124
Figura 19 - As quatro categorias para o tratamento de resíduos orgânicos .....	126
Figura 20 - Resumo do processo ProKnow-C .....	145
Figura 21 - Sequência da metodologia bibliométrica utilizada .....	148
Figura 22 - Quantidade amostral dos trabalhos selecionados e filtrados para a pesquisa .....	148
Figura 23 - Modelo de avaliação da política municipal de GRSU aplicado à Curitiba .....	184
Figura 24 - Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares baseado em Dinâmica de Sistemas.....	185
Figura 25 - Utilização parcial do modelo pra a simulação do atua cenário.....	188



## Lista de gráficos

Gráfico 1- Relação da geração de resíduos sólidos urbanos entre os cenários.....	73
Gráfico 2- Relação da área utilizada entre os cenários.....	73
Gráfico 3 - Índice de cobertura da coleta de RSU nas regiões brasileiras em 2016.....	83
Gráfico 4 – Composição dos RSUs coletados por regiões no Brasil em 2012.....	84
Gráfico 5 – Presença da coleta seletiva nas regiões brasileiras em 2017 .....	85
Gráfico 6 – Destinação final da coleta seletiva no Brasil em 2017.....	86
Gráfico 7 - Composição dos resíduos recicláveis.....	87
Gráfico 8 - Índices de Reciclagem Disponíveis para Alumínio, Papel e Plástico (%).....	87
Gráfico 9- Distribuição dos trabalhos por países.....	152
Gráfico 10 - Distribuição dos artigos de acordo com a procedência.....	153
Gráfico 11 - Distribuição dos trabalhos segundo o tipo de documento.....	153
Gráfico 12 - Distribuição dos trabalhos em função do ano de publicação .....	154
Gráfico 13 - Relação entre trabalhos e citações .....	154
Gráfico 14 - Período de publicação dos trabalhos citados na referência.....	156
Gráfico 15 - Periódicos mais citados.....	156
Gráfico 16 - Relação entre as revistas e as citações .....	157
Gráfico 17 - Composição dos Coleta Especial de Lixo Tóxico Domiciliar de 1998 a 2013..	174
Gráfico 19 - Composição gravimétrica do material recebido pela UVR no ano de 2014.....	176
Gráfico 20 – Porcentagem dos resíduos recicláveis coletados em Curitiba .....	177
Gráfico 21 - Percentual de resíduos recicláveis reaproveitados em relação ao total coletado em Curitiba .....	178
Gráfico 22 - Composição gravimétrica em alguns bairros de Curitiba em 2015 .....	179
Gráfico 23 – Quantidade em toneladas de resíduos destinados ao aterro sanitário de Curitiba .....	180
Gráfico 24 - Custos dos serviços em um horizonte de 27 anos.....	189
Gráfico 25- Quantidade de resíduos destinados ao aterro na atual gestão .....	190
Gráfico 26 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2024 .....	192
Gráfico 27 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2029 .....	192
Gráfico 28 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2034 .....	193
Gráfico 29 - Custo total com o crescimento da taxa de reaproveitamento de material seco com o ápice de 10% no ano de 2029 .....	194
Gráfico 30 - Custo total com o crescimento da taxa de reaproveitamento de material seco com o ápice de 20% no ano de 2034 .....	195
Gráfico 31 - Evolução no reaproveitamento do resíduo seco atingindo 100% .....	195
Gráfico 32 - Quantidade de resíduos destinados ao aterro com diferentes taxas de aproveitamento .....	196
Gráfico 33 - Total de resíduos destinados ao final de 2045 com diferentes cenários para o tratamento do resíduo úmido compostável de forma descentralizado.....	198
Gráfico 34 - Custo da coleta para diferentes cenários de tratamento úmido descentralizado	198
Gráfico 35 - Custo de aterramento para diferentes cenários de tratamento do resíduo úmido descentralizado .....	199
Gráfico 36 - Custo total para diferentes cenários de tratamento úmido descentralizado .....	200
Gráfico 37 - Aproveitamento de 50% do resíduo úmido descentralizado a partir de 2034 ...	200
Gráfico 38 - Custo de coleta e de aterramento com taxas crescentes até atingir 50% dos resíduos orgânicos com o tratamento descentralizado .....	201
Gráfico 39 - Custo total para diferentes cenários de tratamento de úmidos descentralizados	202
Gráfico 40 - Total de resíduos destinados ao aterro utilizando tratamento centralizado e descentralizado com a mesma taxa de reaproveitamento .....	203

Gráfico 41 - Custo de aterragem para o cenário de tratamento centralizado e descentralizado .....	203
Gráfico 42 - Custo total para os cenários de tratamento centralizado e descentralizado .....	204
Gráfico 43 - Evolução do tratamento misto com diferentes cenários.....	205
Gráfico 44 - Cenário dos custos de coleta e de aterramentos para diferentes tratamentos mistos .....	206
Gráfico 45 - Custo total dos diferentes cenários com tratamento misto.....	207
Gráfico 46 - Quantidade de resíduos destinados ao aterro com reaproveitamento de 50% dos resíduos domiciliares com diferentes cenários .....	208
Gráfico 47 - Custo de coleta dos cenários com reaproveitamento de 50% dos resíduos .....	209
Gráfico 48 - Custo total dos cenários com reaproveitamento de 50% dos resíduos .....	210
Gráfico 49 - Resíduos destinados ao aterro com 80% de reaproveitamento em 2034 .....	211
Gráfico 50 - Custo de coleta e aterramento com um reaproveitamento de 80% em 2034 .....	211
Gráfico 51 - Custo total de um cenário com reaproveitamento de 80% a partir de 2034 .....	212

## Lista de quadros

Quadro 1 - Estrutura da metodologia da pesquisa.....	29
Quadro 2 - Elementos presentes nas definições e modelos de políticas públicas .....	41
Quadro 3 - Como saber se os modelos estão contribuindo para as políticas públicas .....	41
Quadro 4 - Processos da política pública.....	42
Quadro 5 - Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	48
Quadro 6 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	49
Quadro 7 - Acepções do termo tecnologia .....	51
Quadro 8 - Operacionalização da adequação sociotécnica.....	59
Quadro 9 - Passos para o estudo com dinâmica de sistemas .....	64
Quadro 10 - Os elementos básicos utilizados nos modelos de dinâmica de sistemas. ....	64
Quadro 11 - Passos para o processo de modelagem.....	68
Quadro 12 - Cenários futuros esperados.....	71
Quadro 13 - Participação efetiva e eficaz da sociedade dentro da elaboração de políticas.....	75
Quadro 14 - Classificação dos resíduos sólidos segundo sua periculosidade .....	78
Quadro 15 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem .....	78
Quadro 16 - Características dos resíduos sólidos que influenciam no planejamento de limpeza urbana .....	79
Quadro 17 - Princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico .....	80
Quadro 18 - Atividades do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos.....	81
Quadro 19 - Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	81
Quadro 20 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	82
Quadro 21 - Principais instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	82
Quadro 22 - Quantidade de RSU Coletado por Regiões e sua representatividade no Brasil em 2017 .....	84
Quadro 23 - Quantidade de Municípios por Tipo de Destinação Adotada em 2017.....	86
Quadro 24 - Elementos necessários para uma Economia Circular.....	90
Quadro 25 - Estratégias e definições para uma cadeia de valor em uma economia circular....	96
Quadro 26 - Estrutura das práticas de Economia Circular na China .....	102
Quadro 27 - Indicadores da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China para o nível meso.....	104
Quadro 28 - Indicadores do Ministério de Proteção Ambiental da China para o nível meso	104
Quadro 29 - Indicadores para o nível macro .....	105
Quadro 30 - Limites ou desafios para a Economia Circular.....	107
Quadro 31 - Questões e passos a considerar antes de desenvolver um plano de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.....	113
Quadro 32 - Tipos de modelos de engenharia de sistemas, definições e contribuição para o gerenciamento de resíduos sólidos .....	114
Quadro 33 - Vantagens e desvantagens da compostagem.....	129
Quadro 34 - Fatores que afetam o processo de compostagem .....	130
Quadro 35 - Processos microbianos na digestão anaeróbica.....	133
Quadro 36 - Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia .....	134
Quadro 37 - Parâmetros que afetam o processo de digestão anaeróbia.....	134
Quadro 38 - Tecnologias utilizadas no Tratamento Mecânico Biológico .....	135
Quadro 39 - Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico Biológico.....	136
Quadro 40 - Vantagens e desvantagens das tecnologias para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares .....	138
Quadro 41 - Relação das informações mais importantes na bibliometria .....	142

Quadro 42 - Descrição dos grupos-alvo da pesquisa bibliométrica .....	143
Quadro 43 - Requisitos básicos para análises bibliométricas.....	144
Quadro 44 - Número de retorno da pesquisa para cada palavra-chave .....	146
Quadro 45 - Retorno da combinação das palavras-chave.....	146
Quadro 46 - Quantificação dos trabalhos encontrados.....	147
Quadro 47 - Percentual dos trabalhos encontrados por banco de dados .....	147
Quadro 48 - Apresentação dos artigos filtrados pela análise bibliométrica .....	149
Quadro 49 - Objetivos dos trabalhos selecionados que compõem o portfólio da pesquisa....	150
Quadro 50 - Análise do portfólio.....	152
Quadro 51 - Referências citadas mais de 3 vezes.....	155
Quadro 52 - Objetivos específicos do Consórcio Intermunicipal.....	163
Quadro 53 - Premissas do Consórcio Intermunicipal de Curitiba .....	163
Quadro 54 - Diretrizes Específicas do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos .....	166
Quadro 55 - Diretrizes de trabalho do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.....	166
Quadro 56 - Custos Unitários dos Serviços de gestão de resíduos e limpeza pública .....	169
Quadro 57 - Local das Estações de Sustentabilidade implantadas em Curitiba .....	172
Quadro 58 - Composição gravimétrica dos resíduos no aterro .....	179
Quadro 59 - Metas do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba.....	181
Quadro 60 - Variáveis presentes na gestão de resíduos sólidos urbanos.....	182
Quadro 61 - Dados utilizados para a simulação do modelo .....	189
Quadro 62 - Resumo dos resultados do modelo .....	213
Quadro 63 - Custo e quantidade de resíduos destinados pelos diferentes cenários.....	214

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Contexto</b> .....	14
<b>1.2 Justificativa</b> .....	16
<b>1.3 Especificação do problema</b> .....	20
<b>1.4 Pressupostos</b> .....	23
<b>1.5 Objetivo</b> .....	24
1.5.1 Objetivo Geral .....	24
1.5.2 Objetivos específicos.....	24
<b>1.6 Relevância do trabalho e o ineditismo</b> .....	25
1.6.1 Ineditismo .....	27
<b>1.7 Delimitações</b> .....	28
<b>1.8 Procedimentos metodológicos</b> .....	29
<b>1.9 Estrutura do trabalho</b> .....	30
<b>2 POLÍTICAS PÚBLICAS A LUZ DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E SOCIEDADE EM AMBIENTES COMPLEXOS</b> .....	32
<b>2.1 Políticas públicas</b> .....	32
2.1.1 Política pública e sua história .....	33
2.1.2 O que são políticas públicas .....	35
2.1.3 Tipos de política pública.....	36
2.1.4 Análise de políticas.....	37
2.1.5 Modelos de análise de políticas .....	38
2.1.6 Processo de elaboração de políticas.....	41
2.1.7 Variáveis que influenciam o processo de decisão política .....	46
2.1.8 Como decidir a melhor política, utilizando múltiplos critérios.....	47
2.1.9 Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	48
2.1.10 Estatuto da Cidade e da Metrópole.....	49
<b>2.2 Ciência, tecnologia e sociedade</b> .....	50
2.2.1 Tecnologia e a universidade .....	51
2.2.2 Tecnologia social e adequação sociotécnica .....	55
<b>2.3 Dinâmica de sistemas</b> .....	60
2.3.1 Introdução à dinâmica de sistemas .....	60
2.3.2 Modelagem .....	67
2.3.3 Publicações e aplicações desenvolvidas a partir da dinâmica de sistemas.....	69
<b>2.4 Considerações teóricas</b> .....	74
<b>3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS</b> .....	77
<b>3.1 Definição, classificação e características</b> .....	77

<b>3.2 Aspectos legais</b> .....	79
<b>3.3 Resíduos sólidos urbanos no Brasil</b> .....	82
<b>3.4 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e a Economia Circular</b> .....	88
3.4.1 Introdução a Economia Circular.....	88
3.4.2 Aplicação e implementação.....	94
3.4.3 A aplicação da Economia Circular na China.....	100
3.4.4 Indicadores para Economia Circular.....	103
3.4.5 Desafios para a Economia Circular.....	106
3.4.6 Resíduo e Economia Circular.....	108
<b>3.5 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos</b> .....	111
<b>3.6 Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos</b> .....	114
<b>3.7 Os elementos que constituem um modelo de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos</b> .....	119
3.7.1 Geração, acondicionamento e coleta.....	120
3.7.2 Segregação, transporte e estação de transbordo.....	122
3.7.3 Reciclagem.....	123
3.7.4 Reciclagem material seco.....	123
3.7.5 Compostagem.....	125
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	140
<b>4.1 Abordagem metodológica</b> .....	140
<b>4.2 Bibliometria</b> .....	141
4.2.1 Seleção das palavras-chave, teste de aderência e seleção dos bancos de dados.....	145
4.2.2 Varredura nos bancos de dados.....	146
4.2.3 Filtragem dos trabalhos e classificação dos artigos.....	147
4.2.4 Análise do portfólio potencial.....	149
4.2.5 Análise das referências dos trabalhos que compõem o portfólio da tese.....	154
<b>4.3 Planejamento da pesquisa</b> .....	157
<b>4.4 Operacionalização da pesquisa</b> .....	158
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	162
<b>5.1 Objetivo específico a: situação atual de Curitiba</b> .....	162
5.1.1 Diretrizes, estratégias, programas e ações para a gestão dos resíduos do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba.....	165
5.1.2 Custos.....	169
5.1.3 Coleta.....	169
5.1.4 Destino e tratamento.....	175
5.1.5 Disposição final.....	178
5.1.6 Qualidade e informações sobre os serviços prestados.....	180
5.1.7 Intenções e prazos do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.....	181

<b>5.2 Objetivo específico b: Identificar as variáveis que ainda não estão alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos no município estudado .....</b>	<b>182</b>
<b>5.3 Resultado objetivo específico c: Construir um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos para a tomada de decisão .....</b>	<b>184</b>
<b>5.4 Resultado objetivo específico d: Aplicar o modelo com base na atual situação da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares em Curitiba .....</b>	<b>188</b>
<b>5.5 Resultado objetivo específico e: Comparação dos diferentes cenários com o modelo atual.....</b>	<b>191</b>
<b>5.5 Resumo dos resultados .....</b>	<b>212</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS FUTURAS .....</b>	<b>215</b>
<b>6.1 Atendimento aos objetivos da pesquisa .....</b>	<b>215</b>
<b>6.2 Contribuições científicas .....</b>	<b>218</b>
<b>6.3 Proposição de trabalhos futuros.....</b>	<b>219</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>221</b>
<b>ANEXO – EQUAÇÕES BASE EXTRAÍDOS DO PROGRAMA <i>VENSIM®SOFTWARE</i> .....</b>	<b>244</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda a necessidade de uma gestão de resíduos sólidos urbanos mais efetiva, ou seja, que atenda os objetivos propostos na Lei Federal nº. 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, além dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

A introdução corrobora para o desenvolvimento desta pesquisa e está composta pelos seguintes subcapítulos: contexto, justificativa, especificação do problema, pressupostos, objetivos, relevância, ineditismo, delimitações, procedimentos metodológicos e estrutura do trabalho.

### 1.1 Contexto

O atual padrão de vida da sociedade moderna pode ser explicado pelas ações passadas. Segundo Sagan (1997), os primeiros exemplares de nossa espécie eram caçadores, saqueadores e errantes nas estepes e nas savanas.

Quando os primeiros seres humanos deixaram de ser nômades, estabelecendo-se em locais específicos, “novas situações em relação aos resíduos sólidos produzidos pela atividade humana foram criadas pela alteração introduzida em seus hábitos de vida” (PHILIPPI JR, 1979, p. 45 apud NAGASHIMA *et al.*, 2011).

Ocorridas provavelmente pelo questionamento: “por que correr atrás do alimento quando se pode fazer com que ele venha até nós?” (SAGAN, 1997, p. XVI). A fixação em um determinado território possibilitou a acumulação de diversos artefatos tecnológicos, além do desenvolvimento de técnicas como a agricultura, a domesticação de animais e plantas, proporcionando o aumento populacional e as transformações no ambiente (BURKE; ORSTEIN, 1998).

Estas mudanças, verdadeiras revoluções, com o passar do tempo, acarretaram na concentração da população no meio urbano, cercado por padrões de industrialização e consumo (ROTH; GARCIAS, 2009; MARCHI, 2015). Permeado de necessidade e anseios humanos, a cidade é fruto de um processo cultural e socioeconômico, que tem gerado uma urbanização extensa e adensado, o que prejudica o meio ambiente de maneira progressiva (LEFEBVRE, 2001).

As cidades são caracterizadas por serem “os principais centros de produção de resíduos, devido sua concentração econômica e o número de habitantes” (PEREZ 2012, p.



98). Tozan e Ompad (2015) mencionam que mais da metade da população mundial (54%) vive nos centros urbanos e a tendência é aumentar.

O comportamento de aquisição de produtos e conseqüentemente geração de resíduos, normalmente é incentivado por publicidades consumistas, disseminadas pelos diversos meios de comunicação de massa (HORKHEIMER; ADORNO, 1991) as que criam necessidades, algumas artificiais, estimulando os indivíduos a obterem novos produtos (MATTOS, 2006), realizando esta ação de forma natural e diariamente, sem pensar (BAUMAN, 2008).

Lovelock (2006) destaca que o consumo e progresso tecnológico comprometem os recursos naturais, gerando desequilíbrios ambientais, poluição do ar, água e terra. O que afeta também as relações sociais e obscurecem o conteúdo de classe das escolhas tecnológicas (NOVAES; DAGNINO, 2004), ofuscando os riscos que todos estão suscetíveis a sofrer (BECK, 2011). Justificado pela atual composição dos resíduos, constituídos das mais variadas naturezas, possuindo elementos perigosos para os organismos vivos e sendo de difícil tratamento (ROTH; GARCÍAS, 2009; JACOBI; BESEN, 2011).

A geração dos diversos tipos de resíduos é uma realidade e tal crescimento foi de 1% entre 2016 e 2017 no Brasil, totalizando 78.426.820 toneladas de resíduos sólidos (ABRELPE, 2017).

Desta forma, a gestão de resíduos sólidos urbanos (GRSU) necessita da atenção do poder público e da atuação da sociedade, os quais devem reivindicar e contribuir para o desenvolvimento de planejamentos para a gestão de resíduos, além de exigir políticas públicas (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Entretanto, compreender a complexidade, a natureza de um sistema e suas interações, como é o caso da cadeia de resíduos sólidos é fundamental para a melhor execução de todas suas variáveis, além de possibilitar a cobrança por ações, manutenções e melhorias em seu processamento.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2017), cerca de 40% do total dos resíduos coletados no Brasil possuem um destino final inadequado. Othman *et al.* (2012) e Economopoulos (2012) apresentam modelos de gestão de resíduos aplicados nos países desenvolvidos, com aproveitamento energético e utilização de diversas tecnologias, as quais reduzem a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários.

Contudo, estes estudos sobre proposição de modelos possuem realidades que não incluem algumas características brasileiras, apesar de alguns trabalhos envolverem pesquisas em países da América Latina (GUERRERO *et al.*, 2013), ou tratarem de situações específicas,

como o tema da reciclagem, mas não especificamente sobre como analisar o desenvolvimento das políticas municipais de resíduos sólidos urbanos, levando em conta a composição predominantemente orgânica dos resíduos e a falta de uma segregação correta (MASSUKADO, 2008). Silva *et al.* (2015) fazem uma proposição de variáveis chaves para compreender a dinâmica da gestão de resíduos sólidos municipais, porém eles não sugerem um modelo de análise.

Entretanto, se ressalta que a proposição de um modelo de análise a luz da realidade brasileira é relevante para que se possa compreender a dinâmica das políticas municipais a partir da implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

## 1.2 Justificativa

De acordo com Milanez *et al.* (2013), a gestão de resíduos sólidos no Brasil, vem se consolidando como uma importante área de pesquisa e vai ao encontro de alguns preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída em 2010, pela Lei Federal nº12.305/2010 (BRASIL, 2010a).

A PNRS é recente e possibilitou a abertura para uma série de pesquisas, o que a torna atual, assim é tema recorrente em congressos, simpósios, encontros, seminários, além de possuir eventos próprios como: o Congresso Mundial de Resíduos Sólidos, o Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos, o Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, entre outros.

A gestão de resíduos sólidos é considerada um desafio para as autoridades locais, principalmente nos países em desenvolvimento, os quais precisam lidar com a crescente geração de resíduos, além de uma folha orçamentária elevada aplicada a gestão de resíduos (GRAZHDANI, 2016). O desafio é o equacionamento da geração dos resíduos somados a tratamentos e uma disposição final ambientalmente segura (JACOBI; BESEN, 2011; BRASIL, 2010a).

Moh e Manaf (2014) reforçam a complexidade do tema Resíduo Sólido Urbano (RSU) e tratam a necessidade de mudança da política a partir de um novo paradigma, ao considerar que se trata de um dos principais problemas urbanos, considerando as limitações de espaços, saúde e questões ambientais.

Kolekar, Hazra e Chakrabarty (2016) mencionam que planejar uma GRSU é um processo complexo, pois depara-se com um crescimento acelerado das taxas de urbanização. Além dos municípios apresentarem déficits financeiros e administrativos em prover infraestrutura e serviços essenciais de saneamento básico (JACOBI; BESEN, 2011).

Outros problemas estão relacionados com a capacidade física dos aterros, os impactos ambientais, altas despesas financeiras (KOLLIKATHARA; FENG; YU, 2010) e problemas operacionais complexos e dinâmicos (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016). Além de possuir equipamentos obsoletos e danificados, pessoal inadequado, baixa arrecadação, consequentemente pouco recursos e mal aplicados (MARCHI, 2015).

Resumindo, as crescentes taxas de geração de resíduos sólidos urbanos, o aumento de preocupações com o impacto no ambiente e na saúde, baixas capacidade de tratamento de resíduos, as limitações legislativas e políticas, exercem efeitos relevantes sobre as práticas de gestão de resíduos sólidos urbanos, portanto são desafios enfrentados pelos gestores de resíduos sólidos urbanos (LI *et al.*, 2007).

A lista de dificuldades corrobora com a pesquisa realizada por Silva (2016), que aponta o alto custo da gestão de RSU, além da baixa recuperação e reciclagem de materiais, representando uma perda financeira dupla, ou seja, enterram-se materiais que possuem valor econômico e que poderiam retornar para o sistema produtivo, seguindo uma lógica de economia circular e o ato de enterrar os resíduos possui um custo a parte.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - IPEA (2010) demonstra que no Brasil há um desperdício de aproximadamente 8 bilhões de reais ao ano, com resíduos que são descartados e que poderiam ser reciclados, porém uma década atrás, Calderoni (1999) já ressaltava em seu trabalho: “Os bilhões perdidos no lixo”, a grande quantidade de recursos destinados ao lixo, ou seja, nada parece ter mudado.

Para Lin (2008) pensar na cadeia de resíduos sólidos trata-se de um novo sistema econômico que se retroalimenta em uma economia circular. O autor propõe que os estudos sejam realizados a partir de cada realidade, assim modelos e sistemas podem aperfeiçoar os resultados e apoiar a decisão dos gestores, o que realmente demonstra ser uma lacuna para a implementação de políticas deste tipo.

Realçando que a falta de gestão e políticas públicas ocasiona problemas ambientais como a degradação do solo, dos corpos d'água e mananciais, poluição do ar, enchentes e proliferação de vetores causadores de doenças, o que afeta diretamente a sociedade (JACOBI; BESEN, 2011), concorrendo também para o aquecimento global e as mudanças climáticas (JACOBI e BESEN, 2011; GOUVEIA, 2012). De acordo com Hoornweg e Bhada-Tata (2013) os resíduos urbanos representam cerca de 5% das emissões globais de gases causadores do efeito estufa.

Gouveia (2012) ainda cita outros problemas para as pessoas que vivem próximas aos aterros e que possuem riscos para diversos tipos de problemas: câncer, anomalias congênitas, baixo peso ao nascerem, abortos e mortes neonatais.

A falta de equipamentos e cuidados, especialmente com os trabalhadores e as trabalhadoras que estão em contato direto com os resíduos, podem levar a problemas que incluem a exposição a metais e substâncias químicas, doenças respiratórias, lesões por acidente e agentes infecciosos como vírus e bactérias (GOUVEIA, 2012).

Assim, há necessidade de políticas públicas, da atenção do poder público e da sociedade no processo de reivindicação e contribuição para ações que tornem a gestão de resíduos sólidos mais eficientes.

O planejamento envolve escolhas e decisões de alternativas em torno da leitura e análise de cenários que envolvam fatores políticos, ambientais, econômicos, sociais, culturais dentre outros (MARCHI, 2015). Portanto, compreender a complexidade de uma cadeia de resíduos sólidos é fundamental para a melhor execução e relação de todos os constituintes e fatores deste sistema, além de possibilitar a cobrança por ações, manutenções e melhorias em seu processamento.

Neste contexto, torna-se necessário a aplicação das medidas que contribuam para a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos. A maximização de cada etapa na cadeia de gestão de resíduos sólidos pode refletir na disposição final, reduzindo a quantidade de resíduos destinados aos aterros e prolongando sua vida útil. Uma vez que, os atuais aterros estão saturados e cada vez mais distantes dos centros urbanos (JACOBI; BESEN, 2011).

Na gestão de resíduos sólidos urbanos, as incertezas podem surgir de outros custos relacionados, fatores de impacto e objetivo, e podem ser apresentados em formatos difusos, probabilísticos e / ou de intervalo (LI *et al.*, 2007).

Muitas técnicas de modelação de vários níveis de complexidade têm sido aplicadas na predição da taxa de geração de resíduos sólidos e sua composição. Alguns deles são incapazes de lidar com os resíduos gerados pelas diferentes atividades e origens. Desta forma, um estudo abrangente das variáveis que influenciam a geração de resíduos sólidos, além da taxa de reciclagem é fundamental para explorar mecanismos de geração e previsão futura dentro da dinâmica de resíduos sólidos urbanos (GRAZHDANI, 2016).

De acordo com Zaman e Lehmann (2013), o sucesso de uma GRSU depende da precisão da previsão e em uma compreensão abrangente dos sistemas globais de gestão de resíduos.

O pensamento sistêmico na dinâmica de sistemas é relativamente novo a questões relacionadas a saúde pública, mas é uma promessa como metodologia para modelar e analisar a complexidade dos processos urbanos para informar eficazmente as ações políticas em ambientes dinâmicos (TOZAN; OMPAD, 2015).

Portanto, para lidar com as etapas que constituem a cadeia de resíduos e trabalhar com incertezas, torna-se necessário um modelo que compreenda toda a sua dinâmica. Desta forma, a pesquisa busca um modelo que auxilie na tomada de decisão, baseado na metodologia de dinâmica de sistemas, a qual possibilita a simulação e criação de cenários que possibilitam a prospecção e antecipação de futuros desejados.

A aferição de valores conjuntamente a uma lógica de economia circular, pode contribuir para a implementação de ações, que contribuam de forma global na cadeia de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, tornando-a mais efetiva, ou seja, desenvolvendo uma cadeia produtiva para a área de reciclagem, além de alternativas para o tratamento e aproveitamento de resíduos orgânicos.

A aplicação de novas formas de tratar os resíduos podem representar um decréscimo no total destinado ao aterro sanitário, prolongando a sua vida útil e reduzindo os custos envolvidos na coleta e no aterramento.

A metodologia de dinâmica de sistemas possibilita compreender as causas estruturais que provocam o comportamento do sistema (GARCIA, 2003), desta forma fornece o modelo mais apropriado para determinadas realidades. A utilização de um modelo baseado na metodologia de dinâmica de sistemas aplicado ao município de Curitiba é um caso inédito, caracterizando a tese.

Outra justificativa, é que a atual pesquisa, a qual é o desdobramento de trabalhos passados publicado como: “O que é relevante para planejar e gerir resíduos sólidos?” (SILVA *et al.*, 2015); “Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal frente às políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba” (SILVA; FUGII; SANTOYO, 2017); e Avaliação da política municipal da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Curitiba (SILVA, 2016).

A pesquisa também é uma derivação da dissertação de Fugii (2014), trabalho que forneceu as variáveis chaves para a execução do presente estudo, o qual possuiu vínculo com um projeto de pesquisa financiado.

O trabalho possui outras justificativas de cunho pessoal e relacionado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade e são descritas a seguir.

O vínculo da pesquisa com o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE), está relacionado com as alterações tecnológicas que tem sido uma constante na história da sociedade e como esta provoca mudanças em todos os segmentos de um povo, requerendo entendimentos que possam ser obtidos por meio da investigação científica nas variadas áreas de conhecimento.

Nesse âmbito, o propósito é relacionar como as inovações de novos produtos e tratamentos na área de gestão de resíduos sólidos interferem na vida das pessoas, na sua maneira de trabalhar, aprender, pensar, simbolizar e atuar no mundo. As visões, representações e impactos da tecnologia na sociedade e do meio natural devem ser investigados e analisados a partir de uma perspectiva interdisciplinar, haja vista a complexidade do estudo.

Com relação, a linha de pesquisa Tecnologia e Desenvolvimento, o estudo busca investigar, discutir, simular, temas voltados a elementos e a dinâmicas de processos de desenvolvimento territorial sustentável.

A pesquisa possui uma justificativa pessoal, a qual está relacionada em parte a formação de biólogo do autor (Gabriel Fugii), o qual entende que melhorar a gestão de resíduos sólidos urbanos representa um menor impacto ao meio ambiente e que futuros diferenciados e equilibrados são possíveis.

Para tanto a pesquisa segue os objetivos encontrados na Lei Federal nº. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, como por exemplo: proteção da saúde pública e da qualidade ambiental; mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos; desenvolvimento de pesquisas voltadas para tecnologias limpas aplicáveis aos RSU, entre outros (BRASIL, 2010a). Além da pesquisa científica e tecnológica ser um instrumento citado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a).

Além disso, o trabalho buscar estar de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, principalmente com o objetivo 6, o qual assegura a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos.

### **1.3 Especificação do problema**

A Lei Federal nº. 12.305 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a qual apresenta princípios, objetivos, instrumentos, responsabilidades, definições e diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos

sólidos (BRASIL, 2010a). Esta lei está regulamentada pelo Decreto nº. 7.404, de 2010, que criou como um dos seus principais instrumentos o Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

O Plano foi construído com base no processo de consulta e audiência pública regional e nacional, junto aos setores especializados, setor público e a sociedade, possuindo estreita relação com outros Planos, como os Planos Nacionais de Mudanças do Clima (PNMC), Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) e Plano de Ação para Produção e Consumo Sustentável (PPCS) (BRASIL, 2012).

Ele apresenta propostas e conceitos que refletem em diversos setores da economia, equalizando crescimento econômico e preservação ambiental com desenvolvimento sustentável. Contempla também alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implantação, bem como metas para diferentes cenários, programas, projetos e ações correspondentes (BRASIL, 2012).

A PNRS possui uma visão sistêmica da gestão dos resíduos sólidos, considerando as variáveis: ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública. Na gestão – voltada para o planejamento – e gerenciamento – aplicação – devem ser observadas as seguintes ordens de prioridade: a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a).

Porém nenhuma das prioridades é alcançada, visto os dados históricos sobre a GRSU dos municípios brasileiros disponíveis pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - (SNIS). Logo é necessária uma reavaliação do modelo proposto, visto que, a geração de resíduos sólidos urbanos aumenta a cada ano, e que em média cada brasileiro gera pouco mais de 1 kg por dia (ABRELPE, 2017). Silva (2016) apresenta outros dados intrigantes através de pesquisas utilizando dados oficiais extraídos do SNIS, como por exemplo a taxa de autofinanciamento do serviço de gestão de resíduos que é insuficiente para Curitiba, necessitando do deslocamento de verbas de outras rubricas.

O serviço prestado poderia reduzir a quantidade de resíduos depositados no aterro sanitário, se a sociedade e a prefeitura aproveitassem mais os materiais orgânicos e os inorgânicos. Com relação aos materiais inorgânicos, Curitiba apresenta uma taxa de coleta de 5,7% e um reaproveitamento de resíduo reciclado de 57,32%. Ou seja, é uma quantidade baixa de resíduos inorgânicos que são coletados e cerca de 60% dos resíduos são reciclados, os demais produtos são aterrados (SILVA, 2016).

Desta maneira, muito material é dispensado de forma equivocada, desperdiçando a possibilidade de reaproveitamento. As extrações de novas matérias primas representam uma degradação ambiental, além de novos processos de geração de resíduos.

Assim, conhecer as ações que interferem em um sistema integrado é essencial na tomada de decisão acerca de ações estratégicas visando alcançar um futuro desejável, uma vez que a falta de uma gestão adequada gera diversos problemas que afetam diretamente a qualidade de vida do ser humano (ROTH; GARCIA, 2009).

A compreensão das ações depende de um conhecimento apropriado das variáveis presentes no processo de GRSU. Desta forma, a identificação e compreensão das diversas variáveis presentes na gestão de resíduos sólidos urbanos são fundamentais para as políticas públicas de gestão de resíduos sólidos proporcionando, pelo processo de prospecção e de simulação a antecipação das ações presentes, a minimização de problemas futuros.

Neste contexto, torna-se evidente a necessidade da existência de um processo efetivo de gestão de resíduos sólidos urbanos, ou seja, que alcance os objetivos de forma eficaz e com a aplicação de recursos de forma eficiente.

Desta forma é apresentado a seguinte questão: quais modelos de gestão de resíduos sólidos urbanos atenderiam a uma geração crescente de resíduos e trabalharia com o tratamento de resíduos orgânicos?

Há diversos modelos e estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos utilizados no mundo, como os propostos por Economopoulos (2012), Othman *et al.* (2012) e Tchobanoglous e Kreith, (2002) sendo aplicados em países desenvolvidos como Estados Unidos, Japão, Alemanha, Dinamarca, Holanda, Suécia, entre outros. De acordo com a pesquisa executada pela Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco – FADE (2012), Japão e os países Europeus citados, destinam um baixo percentual dos resíduos gerados nos aterros sanitários, devido aos tratamentos utilizados, como recuperação de materiais e principalmente a incineração com recuperação energética.

Nos países em desenvolvimento, como é o caso brasileiro, os modelos devem necessariamente pensar nas pessoas que vivem da reciclagem (WILSON; VELIS; CHEESEMAN, 2006). Além de refletir sobre a grande porcentagem de material orgânico presentes nestes países (OLIVEIRA; FAGUNDES, 2005). Desta maneira, Silva *et al.* (2015), ressaltam a importância de pensar um modelo com a realidade local dos municípios brasileiros.



## 1.4 Pressupostos

Os municípios e consórcios não dispõem de recursos financeiros suficientes, mão de obra especializada e nem mesmo tecnologias (JACOBI; BESEN, 2011) para a implantação ou adaptação das atuais gestões de resíduos sólidos urbanos praticadas.

Devido a este cenário as mudanças devem ser pontuais e realizadas de médio e longo prazo, porém quais mudanças devem ser tratadas? A Lei nº. 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS relata em um de seus artigos que a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, devem seguir a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010a).

Porém, já a primeira prioridade não é atendida, visto os relatórios publicados pela Abrelpe (2012; 2013; 2014; 2015; 2017) demonstram o aumento da geração de resíduos sólidos a cada ano que passa.

Como proceder para amenizar as crescentes quantidades de resíduos depositados nos aterros sanitários (que segundo a PNRS já deveria estar presente nos municípios brasileiros).

Caso a geração de resíduos não diminua, o que pode ser feito? A pesquisa buscou responder esta pergunta através de alternativas para o atual cenário da gestão de resíduos no município de Curitiba. Alternativas que foram inseridas dentro da metodologia de dinâmica de sistemas, a qual colaborou para apresentar um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos que gera cenários futuros, auxiliando na tomada de decisão e reduzindo as incertezas e riscos.

Ao escolher determinadas ações dentro de um sistema integrado, é possível desencadear benefícios para a sociedade e o município ao longo do tempo, como, por exemplo, cessar a despesa de recursos públicos de forma equivocada e inadequada; melhorar qualitativamente a atual gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos; ademais de gerar novos empregos, por meio de novas associações, cooperativas, usinas de compostagem, além da ampliação de um mercado em torno da reciclagem, da compostagem e do aproveitamento energético.

Desta forma, pressupõem que a aplicação de um novo modelo de gestão possa gerar economia e recursos financeiros advindos de uma lógica de economia circular, a qual poderia financiar pesquisas e o aprimoramento das outras etapas presentes no sistema integrado de resíduos sólidos urbanos, além da capacitação e aprimoramento técnico dos trabalhadores gerando desenvolvimento técnico e tecnológico.

Todas estas pressuposições contribuem para o aperfeiçoamento da gestão de resíduos sólidos urbanos, tornando-a mais efetiva.

## 1.5 Objetivo

Nesta seção, são apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, os quais constituem a finalidade do trabalho científico e o que realmente o pesquisador pretende comprovar (SOUZA, 2016).

### 1.5.1 Objetivo Geral

O objetivo geral da pesquisa é apresentar um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos baseados na metodologia de dinâmica de sistemas, que auxilie na tomada de decisão. Modelo que possibilita melhorar a atual gestão de resíduos sólidos urbanos, reduzindo quantitativamente os rejeitos destinados aos aterros sanitários, através do reaproveitamento dos resíduos descartados.

Conseqüentemente colabora com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº. 12.305/2010, além de poder auxiliar os tomadores de decisão e a sociedade na melhor forma de gerir os resíduos sólidos urbanos, contribuindo para as áreas de políticas públicas, saneamento, sustentabilidade, gestão de recursos públicos, planejamento urbano e estratégico.

### 1.5.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, foram realizados os seguintes objetivos específicos:

- a- Apresentar o cenário atual da gestão de resíduos sólidos urbanos de Curitiba, referente ao ano de 2018.
- b- Identificar as variáveis que ainda não estão alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos no município estudado.
- c- Construir um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos para a tomada de decisão, baseados nos fundamentos da economia circular e da metodologia da Dinâmica de Sistemas.
- d- Aplicar o modelo com base na atual situação da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares em Curitiba.

e- Comparar os diferentes cenários, ou seja, criar modificações nas variáveis que compõem o sistema de gestão de resíduo sólido urbano atual para observar as mudanças futuras.

A simulação de modelos permite observar o comportamento das variáveis que compõem o sistema, suas oscilações e possibilita prever e antecipar determinadas situações futuras. Os dados atuais poderão ser simulados e previstos, propondo assim, intervenções.

Desta forma a pesquisa serviu para a construção de um modelo que melhoraria a atual gestão de resíduos, garantindo desenvolvimento social, ambiental e econômico para o município, para a sociedade e para os trabalhadores e trabalhadoras que estão envolvidos diretamente na cadeia de resíduos sólidos urbanos.

Visto que modelos existem, porém quando países em desenvolvimento avançam nas questões referentes ao gerenciamento dos resíduos sólidos, devem levar em conta que estão interferindo também com os meios de subsistência de uma parte da população urbana, principalmente aquelas atividades ligadas à reciclagem (WILSON, VELIS, CHEESEMAN; 2006). Desta forma, a pesquisa possuiu uma atenção às características da gestão dos resíduos sólidos urbanos aplicados no Brasil, a qual é predominantemente composta por resíduos orgânicos, não possuir coleta seletiva em todo país e destinar cerca de 40% dos resíduos coletados em locais impróprios (ABRELPE, 2017).

## **1.6 Relevância do trabalho e o ineditismo**

A tese apresenta um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos, baseado na dinâmica de sistemas e na economia circular, o qual amplia as possibilidades de transformações dos resíduos, evitando o desperdício de dinheiro público e reduzindo os impactos ambientais.

Além disso, a pesquisa vai ao encontro da linha de pesquisa de Tecnologia e Desenvolvimento do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Sociedade (PPGTE) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - (UTFPR) e do grupo de pesquisa Políticas Públicas e Dinâmicas de Desenvolvimento Territorial.

Possui também vínculo com o projeto de pesquisa financiado pelo CNPq, intitulado: “Planejamento territorial e desenvolvimento local: um modelo de prospecção para racionalização de resíduos sólidos urbanos”, iniciados em fevereiro de 2014 (2014-2017). Projeto coordenado pelo orientador desta tese.

O desenvolvimento da pesquisa é uma consequência decorrente da formação de biólogo do pesquisador, o qual acredita que é possível melhorar a atual gestão dos resíduos sólidos urbanos praticados em Curitiba, assim colaborando com a minimização dos impactos ambientais, sanitários e econômicos.

Uma gestão adequada contribui para a redução da necessidade de grandes áreas para destinação final dos rejeitos, além de conciliar o desenvolvimento econômico, social e ambiental, garantindo as atuais condições de recursos para as necessidades de hoje e das gerações futuras, premissa do desenvolvimento sustentável (BRUNDTLAND *et al.*, 1991).

Contribuindo também com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo um instrumento de pesquisa científica e tecnológica, podendo, assim, cooperar com os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas, de novos produtos, processos, métodos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos (BRASIL, 2010a).

Visto que é uma política recente e sofreu nos últimos anos uma ampliação de pesquisas, sendo discutidos em diversas áreas nos encontros acadêmicos.

O trabalho também vai ao encontro dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas e do Observatório da Política Nacional de Resíduos Sólidos - (OPNRS) que monitora a implementação da Lei Federal nº. 12.305 de 2010, fazendo parte do grupo de compõem a instituição.

Outro fator de relevância desta pesquisa é servir como um instrumento de tomada de decisão para a gestão e gestores dos resíduos sólidos urbanos, pois, segundo Zanta e Ferreira (2003), é a gestão que vai tomar a decisão de prioridade. De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (2008), a gestão de resíduos nos países em desenvolvimento possui questões ambientais que não são bem conduzidas, necessitando de atenção urgente.

A consciência do processo de aproveitamento, tratamento ou destino dos resíduos sólidos urbanos é essencial para os estudos futuros (SOUSA; GAIA; RANGEL, 2010). Nesse sentido, explorar as várias ações que podem contribuir para a redução de resíduos destinados aos aterros sanitários é fundamental.

Como é o caso da compostagem dos resíduos orgânicos, ainda incipiente no Brasil (BRASIL, 2012), a qual representa 51,4% (28.544.702 toneladas) dos resíduos gerados (ABRELPE, 2011; IPEA, 2012), além do aproveitamento energético, que já possui normas de regulamentação para a geração e distribuição de energias proveniente de fontes alternativas de energia como o biogás (ANEEL, 2010).

Outro exemplo é o reaproveitamento e transformação de resíduos, que previamente separados e classificados pela fonte geradora, facilitam a reciclagem, além de ser um processo de valorização de resíduos com a sua reintrodução no ciclo produtivo (ROCHA; D'ÁVILA; DE SOUZA, 2005).

### 1.6.1 Ineditismo

Este subcapítulo apresenta o ineditismo que é um resultado da pesquisa bibliométrica apresentada e detalhada na metodologia no capítulo 4.

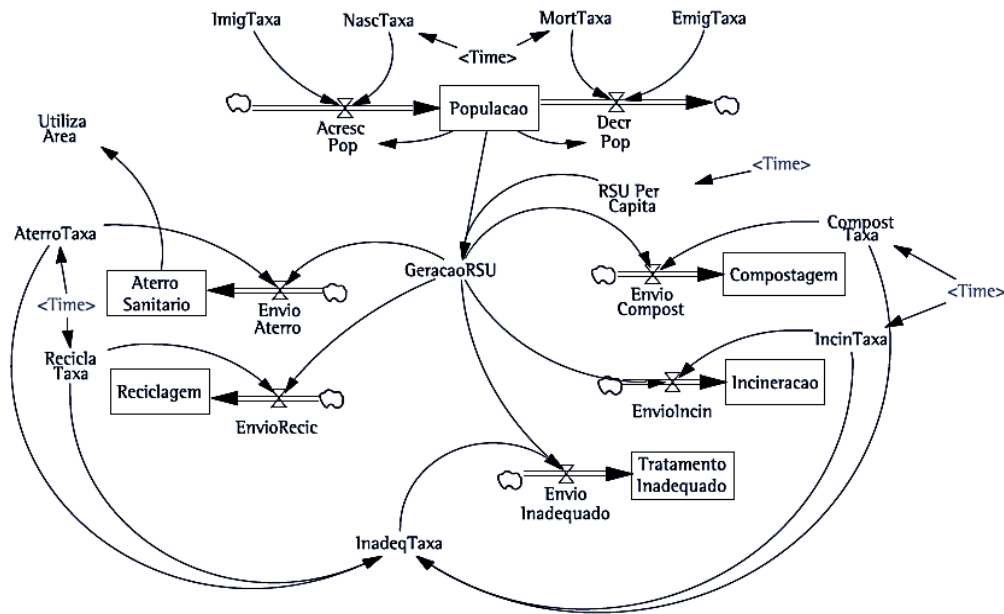
O quadro 48 apresenta vinte e um trabalhos que relacionam a gestão de resíduos sólidos urbanos e a dinâmica de sistemas. Os trabalhos foram extraídos dos principais bancos de dados disponíveis (quadro 47).

Os 21 trabalhos compõem o portfólio da pesquisa, ou seja, são trabalhos que possuem uma certa relação e alinhamento com a pesquisa, servindo de base para a estruturação dos diversos capítulos que compõem a pesquisa.

Nenhum trabalho encontrado é idêntico ao proposto nesta pesquisa, além de possuir poucos trabalhos na área realizados no Brasil. Foi encontrado apenas uma tese (MATOS, 2012), que focou a questão relacionada a reciclagem especificamente e que baseado no comportamento sistêmico, através da dinâmica de sistemas buscou elaborar uma ferramenta de tomada de decisão aplica ao município São Carlos, em São Paulo.

Os demais trabalhos são artigos científicos, que trabalham determinadas etapas da gestão de resíduos sólidos urbanos, em lugares específicos. Dos artigos mencionados no quadro 48, o trabalho de Simonetto e Löblerb (2012) é o que está mais próximo com os objetivos da pesquisa. No artigo, os autores apresentam um modelo de simulação baseado na metodologia de dinâmica de sistemas, a qual permite avaliar e analisar cenários acerca da geração e disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Simonetto e Löblerb (2012) trabalham com as seguintes variáveis: tamanho populacional, geração de resíduos, geração per capita, reciclagem, compostagem, tratamento inadequado e aterro sanitário, incineração demonstradas na figura 1.

**Figura 1 - Análise de geração e disposição de resíduos sólidos urbanos**



Fonte: Simonetto e Löblerb (2012).

O ineditismo da pesquisa está relacionado a apresentação de um modelo diferente para a gestão de resíduos sólidos urbanos baseado na metodologia de dinâmica de sistemas, ou seja, um modelo desenvolvido para o município de Curitiba, com enfoque no tratamento dos resíduos orgânicos, no custo de gestão, quantidade de resíduos destinados para o aterro e nas variáveis que não estão totalmente alinhadas com a PNRS e as concepções sobre Economia Circular.

Tal modelo foi desenvolvido a partir do desdobramento de pesquisas passadas (principalmente a dissertação do autor desta tese), de dados atuais sobre o município de Curitiba e modelos encontrados na pesquisa bibliométrica.

Cujo objetivo é apresentar uma gestão alternativa, que proporcione uma redução das quantidades de resíduos destinados aos aterros sanitários, atendendo as prioridades mencionadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, maior circularidade dos materiais e a redução do seu custo.

### 1.7 Delimitações

O objeto de pesquisa é o resíduo, o qual possui diferentes classificações e origens. O trabalho foca nos resíduos sólidos urbanos, ou seja, resíduos originados das atividades domésticas e de resíduos de limpeza urbana, originados da varrição, limpeza de logradouros, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (BRASIL, 2010a).

Assim sendo, excluiu os resíduos industriais (aqueles gerados nos processos produtivos e instalações industriais), os resíduos de serviços de saúde, resíduos da construção civil (gerados nas construções, reformas, reparos, demolições, além das resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis), resíduos agrossilvopastoris (os gerados nas atividades agropecuárias e de silviculturas, bem como os relacionados a insumos utilizados nessas atividades), os resíduos de serviços de transportes (originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira) e os resíduos de mineração (BRASIL, 2010a).

Quanto às informações relacionadas à seleção das variáveis para elaboração do modelo para a tomada de decisão e políticas públicas, foram utilizados os resultados da dissertação do autor desta pesquisa. Trabalho que utilizou a técnica Delphi e que foi aplicado aos especialistas da área.

Há diferentes metodologias, técnicas e ferramentas para prever, prospectar, modelar e simular o futuro estabelecendo cenários a partir de dados e informações. Porém para a pesquisa foi selecionada a metodologia de dinâmica de sistemas, explicitada melhor no decorrer desta tese.

Para a modelagem, criação de cenários e aplicação do modelo foi delimitado o município de Curitiba, por ser a cidade onde está sendo realizado esta pesquisa, além de ser objeto de estudo de outras pesquisas.

## 1.8 Procedimentos metodológicos

O subcapítulo apresenta um resumo das ações realizadas para o desenvolvimento dessa pesquisa. O quadro 1 apresenta a estrutura da pesquisa com as suas principais atividades desenvolvidas, explicitadas melhor no capítulo 4, referente a metodologia.

**Quadro 1** - Estrutura da metodologia da pesquisa

Pesquisa	Técnica/ Atividade	Materiais	Tema	Atores-Objeto de pesquisa	Capítulo
Fase exploratória/ descritiva	Pesquisa bibliográfica/ Revisão da literatura	Livros, artigos, teses, dissertações	Gestão de resíduos sólidos urbanos	Economopoulos (2012); Jacobi e Besen (2011); Lohri <i>et al.</i> , (2017); Massukado (2008); Monteiro <i>et al.</i> , (2001); Othman <i>et al.</i> , (2012); Tchobanoglous e Kreith (2002); Zanta e Ferreira (2003)	Capítulos 1 e 3

Continua

					Conclusão
Pesquisa	Técnica/ Atividade	Materiais	Tema	Atores-Objeto de pesquisa	Capítulo
Fase exploratória/ descritiva	Pesquisa bibliográfica/ Revisão da literatura	Livros, trabalhos acadêmicos e leis	Políticas públicas	Dye (2011); Kraft e Furlong (2010); Souza (2006); Trevisan e Van Bellen (2008)	Capítulo 2
	Pesquisa bibliográfica/ Revisão da literatura	Artigos, teses, livros	Ciência tecnologia e sociedade	Dagnino (2010a); Dagnino, Brandão e Novaes (2010); Vaccarezza (2004); Varsavsky (1969)	Capítulo 2
	Pesquisa bibliográfica/ Revisão da literatura	Artigos, livros, teses	Dinâmica de sistemas	Aracil (1995); Dyson e Chang (2005); Forrester (1971); Simonetto e Löblerb (2012); Sterman (2000)	Capítulo 2
	Pesquisa Documental/ Revisão da literatura	Documento institucional	Gestão de resíduos sólidos dados e informações	ABRELPE (2014, 2015, 2016, 2017); Leis	Capítulo 1 e 3
	Pesquisa bibliográfica/ Revisão da literatura	Artigos, livros	Economia Circular	Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016); Leitão, 2015; Lieder e Rashid (2016); Jun e Xiang (2011); Kalmykova, Sadagopan e Rosado (2017)	3
	Pesquisa Bibliométrica/ Revisão da literatura	Artigos, teses, livros	Gestão de resíduos sólidos urbanos e dinâmica de sistemas	Dyson e Chang (2005); Georgiadis (2013); Inghels e Dullaert (2010); Kolekar, Hazra e Chakrabarty (2016); Simonetto e Löblerb (2012); Sukholthaman e Sharp (2016)	Capítulo 1, 3, 4 e 5
Fase explicativa/ analítica	Dinâmica de sistemas/ Construção de modelos	Portfólio com os principais trabalhos, livros, teses	Metodologia de dinâmica de sistemas	Matos (2012); Simonetto e Löblerb (2012); Sterman (2000)	Capítulo 5
Fase explicativa/ analítica	Dinâmica de sistemas/ Modelagem e simulação	<i>Vensim® Software</i>	Aplicação da dinâmica de sistemas	Garcia (2003, 2008); Simonetto e Löblerb (2012); Sterman (2000)	Capítulo 5
Fase explicativa/ analítica	Análise do conteúdo/ Considerações finais	Análise dos resultados	Considerações finais e proposições de trabalhos futuros	Resultados; PNRS; SNIS	Capítulo 5

Fonte: Autoria própria (2019).

## 1.9 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em seis capítulos. Inicia-se com esta introdução, a qual apresentou o contexto, a justificativa, o problema, os objetivos, os pressupostos, a relevância, o ineditismo, as delimitações, a metodologia e esta estrutura.



O capítulo seguinte aborda os seguintes temas: Políticas Públicas; Ciência Tecnologia e Sociedade; e Dinâmica de Sistemas.

O terceiro capítulo trabalha questões gerais sobre os Resíduos Sólidos.

O quarto capítulo descreve a abordagem metodológica, o planejamento da pesquisa e os procedimentos metodológicos que foram utilizados para alcançar os resultados esperados, descritos no capítulo quinto. Por fim, o sexto capítulo apresenta as considerações finais e as proposições de pesquisas futuras.

## **2 POLÍTICAS PÚBLICAS A LUZ DA CIÊNCIA TECNOLOGIA E SOCIEDADE EM AMBIENTES COMPLEXOS**

O presente capítulo é composto por quatro subcapítulos: Políticas Públicas; Ciência, Tecnologia e Sociedade; Dinâmica de Sistemas; e Considerações Teóricas. Os três primeiros subcapítulos servem de base para a estruturação, finalidade e desenvolvimento da pesquisa. O último subcapítulo apresenta uma consideração com o alinhamento dos três subcapítulos anteriores e a importância para o trabalho.

### **2.1 Políticas públicas**

O presente capítulo é essencial para entender a importância do trabalho, bem como sua eventual aplicação. As políticas públicas são dinâmicas, Bardach (2006) menciona que entender a dinâmica é compreender a mudança, portanto uma das preocupações da dinâmica da política são as mudanças e isto envolve o processo político em suas implementações.

Devido à complexidade de objetivos, interesses e atores, os formuladores de políticas necessitam de ferramentas que auxiliem na formulação das políticas públicas, com o objetivo de torná-las mais abrangentes e efetivas, proporcionando a resolução dos problemas existentes e mudando a realidade local (BASSI; SILVA, 2011).

Desta forma, o trabalho proposto pode auxiliar na tomada de decisão e implementação de ações, de forma mais coerente e segura, sabendo previamente as possíveis trajetórias dentro do complexo sistema que é a gestão de resíduos sólidos urbanos. Visto que, as intenções e ações propostas pelas políticas públicas irão afetar de alguma forma a sociedade.

Há conhecimentos para aplicar a metodologia e os modelos de dinâmica de sistemas e que não existe conhecimento suficiente para projetar diretamente as políticas mais eficazes, portanto há necessidade de passar políticas incertas por uma fase experimental consistente de construção de modelos (FORRESTER, 1971).

Desta forma, o capítulo apresenta as políticas públicas e sua relação com a sociedade. Para facilitar o entendimento e a importância do capítulo, ele está dividido pelos seguintes subcapítulos: Política Pública e sua história; O que são políticas públicas; Tipos de políticas públicas; Análise de políticas; Modelos de análise de políticas; Processo de elaboração de políticas; Variáveis que influenciam o processo de decisão política; Como decidir a melhor política, utilizando múltiplos critérios; Política Nacional de Resíduos Sólidos e Estatuto da Cidade e da Metrópole.

Todos estes subcapítulos acabam justificando a importância da política pública para a implementação de ações relacionadas a gestão de resíduos sólidos, assim como o papel da sociedade.

### 2.1.1 Política pública e sua história

Esse subcapítulo tem como objetivo apresentar uma breve revisão teórica sobre o processo de elaboração de Políticas Públicas (PP), além de apresentar a importância da área para a solução dos problemas que afetam a sociedade, em especial, como lidar com as questões relacionadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

A área de PP vem ganhando uma maior visibilidade nos últimos anos, justificado pela aplicação de políticas de restrições de gastos e pelo fato de estar relacionada diretamente aos países de economia recente e em desenvolvimento (SOUZA, 2006).

No Brasil, os estudos sobre o tema são relativamente recentes e sua análise sentiu uma explosão na década de 1980, impulsionada pela transição democrática (TREVISAN; BELLEN, 2008), enquanto que na Europa os estudos começaram na década de 1970 e nos Estados Unidos no período de 1950 (FREY, 2000).

Atualmente a política pública vem se institucionalizando e expandindo no Brasil, com o aumento de dissertações e teses sobre o tema, com a criação de disciplinas em programas de graduação e de pós-graduação e com o estabelecimento de correntes de pesquisa e linhas especiais de financiamento para a área (ARRETCHE, 2003).

Além disso, o tema tem avançado com o aparecimento de periódicos nacionais e internacionais (TREVISAN; VAN BELLEN, 2008), bem como o surgimento de encontros, simpósios e congressos relacionados com a temática.

Estudar as políticas públicas é relevante, pois envolvem os arranjos institucionais, ideologias de governo, processos políticos (campanhas, lobby, votos, eleição, legislativo), comportamento, além de retratar as causas e consequências das atividades governamentais (DYE, 2011).

Com vistas a um planejamento e objetivos, a PP traz uma avaliação do impacto social, econômico, cultural e político sobre a sociedade, além de questionar quem recebe o quê, quando e como (LASSWEL, 1950). Para Kraft e Furlong (2010), os estudos sobre o assunto possibilitam alternativas de escolhas, compreensão no processo de construção, participação, avaliação e influência na decisão.

Logo, uma análise política e estudos na área possibilita o encorajamento de estudantes, da sociedade e de outros atores na luta por uma sociedade melhor. Questionamentos críticos às questões políticas, com ferramentas de investigação sistemática, baseados na compreensão, pesquisa rigorosa sobre causas e consequências, padrões científicos de inferência, proposições, desenvolvimento de teorias gerais confiáveis demonstram a importância da análise política e do seu aprimoramento (DYE, 2011).

As participações dos cidadãos nas atividades de tomada de decisão podem levar à influência sobre as decisões. Para tanto, há necessidade de compreender a dinâmica de um problema para desenvolver opções de ação. Lembrando que, ao examinar alternativas políticas muitas vezes, os tomadores de decisões e outros intervenientes fazem uso da análise de políticas. Eles precisam saber quem são os principais atores políticos e quais são os motivos por trás deles (KRAFT; FURLONG, 2010).

A política pública como disciplina acadêmica e área de conhecimento surge nos Estados Unidos com ênfase nos estudos da ação dos governos, sem constituir relações com as bases teóricas sobre a função do Estado, enquanto que na Europa a política pública surge como um desdobramento dos trabalhos realizados sobre o papel do Estado e do governo (SOUZA, 2006).

Souza (2006) cita como pais fundadores da área: Harold Lasswell, Herbert Simon, Charles Lindblom e David Easton, que introduziram expressões e conceitos consagrados para a área.

Lasswell (1950) apresenta o conceito de *policy analysis* (análise de política pública), que surge na década de 1930, como forma de conciliar conhecimento acadêmico e científico com a produção empírica dos governos e o estabelecimento do diálogo entre grupos de interesse, cientistas sociais e o governo.

Souza (2006), ao citar Simon, menciona o conceito de racionalidade limitada dos decisores públicos (*policy makers*), devido a problemas ligados a informação imperfeita ou incompleta, tempo para a tomada de decisão, interesse próprio dos decisores, podendo ser contornada com a criação de estruturas que modelem o comportamento dos atores na direção de resultados almejados, impedindo, a busca de maximização de interesses próprios.

Souza (2006) cita que Lindblom questiona o racionalismo de Laswell e Simon, propondo a incorporação de outros elementos à formulação e à análise de políticas públicas, como: relação de poder, integração entre as diferentes fases do processo decisório, papel das eleições, das burocracias, dos partidos e dos grupos de interesse.

Por fim, Souza (2006) apresenta uma definição de Easton, o qual colabora com a área definindo política pública como um sistema, em que há uma relação entre formulação, resultados e o ambiente e que seriam influenciados pelos *inputs* dos partidos, dos grupos de interesse e da mídia.

### 2.1.2 O que são políticas públicas

Souza (2006) defende que as políticas públicas não possuem uma única, nem a melhor definição. Portanto, são apresentadas diversas definições e em seguida uma simplificação sobre o assunto.

Segundo Dye (2011), a política pode ser compreendida como as diversas escolhas de ações dos governos e estas podem, ao mesmo tempo estar resolvendo os conflitos presentes na sociedade ou as disseminando.

Seguindo esta mesma linha, Easton (1965), define política pública como sendo o que os funcionários públicos dentro do governo e a extensão dos cidadãos que eles representam, escolhem fazer ou não em relação aos problemas públicos, desta forma as políticas públicas refletem as concepções da sociedade, além dos conflitos de valores.

De acordo com Saravia e Ferrarezi (2006), o assunto se refere a um fluxo de decisões públicas, dirigido a manter o equilíbrio social ou a alocar desequilíbrios destinados a alterar essa realidade.

Segundo Silva e Bassi (2012), a PP é o conjunto de atividades desenvolvidas pelo Estado que concebem e implementam ideias relevantes aos problemas da sociedade. Apesar de o Estado ser o responsável por estabelecer as regras e mecanismos de punição, em virtude de sua capacidade de universalização, coerção e regulamentação; as políticas somente se realizam quando todos os atores sociais –Estado e sociedade civil – estão envolvidos na sua implementação, interação e integração (SILVA; BASSI, 2012).

Gelinski e Siebel (2008) mencionam que as políticas públicas são ações governamentais orientadas a solução de determinadas necessidades públicas, podendo ser sociais (assistência, saúde, educação, habitação, renda, emprego ou previdência), macroeconômicas (monetária, fiscal, industrial, cambial) entre outras (científica e cultural, tecnológica, agrária e agrícola).

Cabe salientar que a palavra setorial é um adjetivo relacionado a certo serviço ou assunto (HOUAISS, 2010). As políticas setoriais foram mais utilizadas em um período anterior ao século vinte um no Brasil (BONELLI; VEIGA, 2003).

A intersectorialidade nas políticas públicas passou a ser valorizada à medida que não se observava a efetividade, eficiência e eficácia na implementação das políticas setoriais, ou seja, não atendiam as demandas da sociedade e aos recursos disponibilizados para a execução (DO NASCIMENTO, 2010). Assim, a intersectorialidade passou a ser requisitada dentro da implementação das políticas setoriais, visando sua efetividade através da articulação entre instituições governamentais e sociedade civil (DO NASCIMENTO, 2010).

Para Souza (2006), a PP busca colocar o governo em ação e/ou analisar essa ação, propondo mudanças no curso dessas ações, sendo interdisciplinar e envolvendo: economia, ciência política, sociologia, antropologia, geografia, planejamento, gestão e ciências sociais aplicadas. Após serem desenhadas e formuladas, as políticas públicas desdobram-se em planos, programas, projetos, bases de dados ou sistema de informação e pesquisas (SOUZA, 2006).

De acordo com Parada (2007), uma política de excelência corresponde aos cursos de ação e fluxos de informação realizados de forma democrática, sendo desenvolvido pelo setor público com a participação da sociedade e do setor privado (PARADA, 2007).

Segundo Teixeira (2002), as políticas públicas são os princípios norteadores da ação do poder público; procedimentos e regras para as relações do poder público com a sociedade, mediações entre o Estado e os atores da sociedade.

Uma simplificação das teorias mencionadas é: as políticas públicas consistem num conjunto de ações do governo, formuladas a partir de demandas da sociedade ou de atores políticos, com o objetivo de solucionar efetivamente os problemas de interesse público.

Além das definições mencionadas anteriormente, as políticas podem ser classificadas por tipos, descritos no próximo subcapítulo.

### 2.1.3 Tipos de política pública

Souza (2006) e Frey (2000) mencionam quatro tipos de políticas públicas, baseado nos trabalhos de Theodor Lowi. O primeiro tipo retrata às políticas distributivas, ou seja, as decisões tomadas pelo governo que não consideram as limitações dos recursos, gerando impactos mais individuais do que universais, privilegiando determinadas regiões ou grupos de interesse, em detrimento do todo (FREY, 2000).

O segundo envolve as políticas regulatórias, caracterizadas por serem mais visíveis ao público, envolvendo políticos, grupos de interesse e burocracia (FREY, 2000). Trabalham com decretos, portarias, ordens e proibições. Os efeitos de benefícios e custos, dependem da

configuração concreta das políticas, bem como, a distribuição pode ser feita de forma igual e equilibrada entre os grupos e setores da sociedade, da mesma maneira, as políticas também podem atender a interesses particulares e restritos (SOUZA, 2006).

O terceiro é a política redistributiva, ela atinge um maior número de pessoas e impõe perdas concretas a determinados grupos e ganhos incertos para outros (FREY, 2000). O objetivo é o deslocamento consciente de recursos financeiros, direitos ou outros entre camadas sociais e grupos da sociedade, sendo caracterizado por ser polarizado e repleto de conflitos (SOUZA, 2006.).

O quarto tipo está relacionado as políticas constitutivas ou estruturadoras, que abordam os procedimentos, ou seja, as regras do jogo e definem as condições em que se aplicarão as políticas redistributivas, distributivas ou as regulatórias (FREY, 2000).

Cada uma dessas vertentes da PP irá gerar grupos de vetos ou diferentes apoios, processando-se, portanto, dentro do sistema político de forma diferente. Depois desta diferenciação entre os tipos de políticas públicas, são apresentados alguns modelos de análises de políticas.

#### 2.1.4 Análise de políticas

Tradicionalmente a análise política serve a democracia concentrando eficiência e efetividade nas metas de políticas entregues, deixando claro suas contribuições (INGRAM; SCHNEIDER, 2006).

Ela também é o exame de componentes de ordem pública, o processo político, ou ambos. É o estudo das causas e consequências das decisões políticas. Análise de políticas usa diversos métodos de investigação e desenha a partir de várias disciplinas para obter as informações necessárias para avaliar um problema e pensar claramente sobre formas alternativas para resolvê-lo (KRAFT; FURLONG, 2010). É o uso da razão e da evidência em escolher a melhor política entre uma série de alternativas possíveis (MACRAE; WILDE, 1979 apud KRAFT; FURLONG, 2010).

A análise de políticas é descrita como uma forma sistemática e organizada para avaliar alternativas de políticas públicas e programas governamentais existentes. Muitas vezes, envolve a aplicação de instrumentos econômicos, medidas e os métodos quantitativos, sendo utilizada no cotidiano, presente nas diversas atividades (KRAFT; FURLONG, 2010).

Ela avalia os problemas e soluções de maneira racional, trazendo informações e análises sistemáticas sobre as questões de política e tentar mostrar como conjunto de metas e dados objetivos podem ser alcançadas de forma mais eficiente.

Os objetivos das políticas públicas estão determinados por processos políticos, mas a análise pode ajudar os formuladores de políticas a pesar as ideias concorrentes, sobre a melhor forma de entregar tais serviços (KRAFT; FURLONG, 2010).

Análise de políticas pode ser usado em todo o processo político, mas se torna especialmente importante na formulação de políticas e avaliação de programas e implementação. Ao desenvolver alternativas e escolher uma direção, um tomador de decisão pode avaliar a análise de viabilidade, com base em critérios econômicos, administrativos, políticos e éticos. Os mesmos métodos podem ser utilizados para avaliar um programa para determinar a eficácia, ou se tem alcançado resultados esperados (KRAFT; FURLONG, 2010).

Os cidadãos e empresas também podem se beneficiar da análise política. Os cidadãos com interesse em política pública ou no sistema político podem tomar decisões com base em suas opiniões políticas globais (KRAFT; FURLONG, 2010).

Para os responsáveis políticos, a análise política é uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de políticas públicas e sua avaliação. Para os cidadãos fornece uma maneira de organizar pensamentos e informações, para entender melhor as alternativas apresentadas e as implicações dessas escolhas possíveis (KRAFT; FURLONG, 2010).

### 2.1.5 Modelos de análise de políticas

Cada modelo fornece um foco separado sobre a vida política e cada um pode ajudar a compreender as diferenças sobre a política pública. Desta forma Dye (2011) apresenta alguns modelos para o estudo e análise de política pública:

**1) Modelo institucional:** por muito tempo as instituições governamentais foram o centro da ciência política. Envolvendo o congresso, a presidência, tribunais, burocracias, estados, municípios. A política pública era determinada autoritariamente, implementada e aplicada por essas instituições. Governo dá legitimidade às políticas, que são geralmente considerados como obrigações legais que comandaram a lealdade dos cidadãos, atingindo a todos e sendo coercitivo (DYE, 2011).

**2) Modelo processo:** Política como atividade. O processo como uma série de atividades políticas: identificação de problema (demandas individuais ou de grupo), *agenda setting* (capturar a atenção dos formuladores de políticas, decisão do problema específico),



formulação (de propostas - elaboração e seleção de opções políticas), legitimação (política - desenvolvendo apoio político, aprovação congressional, presidencial, ou do tribunal), implementação (política – burocracias, aplicação de leis, gasto de dinheiro) e avaliação (política – Funcionalidade, democrático, agências governamentais, mídia, consulta externa e público). O modelo de processo ajuda a compreender as várias atividades que envolvem a formulação de políticas (DYE, 2011).

**3) Modelo racional:** política como ganho social máximo. Governantes devem escolher os resultados que possibilitem ganhos para a sociedade sem que exceda grandes quantidades de custo. Os formuladores de política na seleção racional de políticas devem saber as preferências e os relativos pesos para a sociedade. Disponibilidades de políticas alternativas e suas consequências, bem como a relação de benefício e custos, seleção da mais eficiente alternativa política. Informações das alternativas, previsão das consequências, as barreiras e os valores políticos, econômicos, sociais e culturais estão em jogo, afetando o sistema de tomada de decisão (DYE, 2011).

**4) Modelo incremental:** política como variação sobre o passado. Crítica ao modelo racional de tomada de decisão. Política como uma continuidade das atividades de governo passado com modificações incrementais. É conservador em medida que existe programas, políticas existentes e os gastos são considerados como uma base e atenção é concentrada em novos programas e políticas sobre os aumentos, diminuições ou modificações de programas em curso. Assim, o incrementalismo é importante na redução de conflitos e manutenção da estabilidade de preservar o próprio sistema político. Modelo falha com o confronto das crises (DYE, 2011).

**5) Modelo de grupo:** Política como equilíbrio em um grupo de conflito. A interação entre grupos é o fator central das políticas. Reivindicar, é a ponte entre o individual e o governo. A tarefa do sistema político é o de gerir conflitos de grupos, estabelecendo regras do jogo, organizando compromissos e interesses patrimoniais, articulado compromissos na forma de políticas públicas e o cumprimento destes compromissos. O equilíbrio é determinado pela influência relativa dos vários grupos de interesse. A política vai se mover na direção desejada dos grupos, ganhando influência (DYE, 2011).

**6) Modelo elite:** Política como preferência a elite. A elite controla a opinião de massa sobre questões políticas e a massa molda a política conforme a opinião da elite. Desta forma, mantendo o poder, a hegemonia e evitando que a elite deixe de governar (DYE, 2011).

**7) Modelo da escolha pública:** política como tomada de decisão coletiva feita através dos interesses dos indivíduos. Esta teoria pressupõe que todos os atores, políticos, candidatos,

contribuintes, eleitores, legisladores, burocratas, grupos de interesse, partidos e governos buscam maximizar seus benefícios pessoais na política. A Teoria da escolha pública ajuda a explicar porque os partidos políticos e os candidatos geralmente não conseguem oferecer alternativas políticas claras em campanhas eleitorais. Partidos e candidatos não estão interessados em promover princípios, mas sim eleições vencedoras. Eles formulam suas posições políticas para ganhar eleições e não para a formular políticas (DYE, 2011).

**8) Modelo teoria de jogos:** Política como escolha racional em situações competitiva. A teoria dos jogos é o estudo das decisões em situações em que dois ou mais participantes fazem escolhas racionais e os resultados dependem das escolhas feitas por cada um. Ela é aplicada frequentemente em conflitos internacionais (DYE, 2011).

Há outros modelos além dos apresentados por Dye (2011), como, por exemplo os de Gelinski e Seibel (2008) e Souza, (2006):

**9) O Modelo lata de lixo (*Garbage Can*) e Múltiplos Fluxos (*Multiple Streams*):** os gestores adaptam os problemas as soluções disponíveis, ocasionando a prática de tentativa e erro para resolver situações que demandem resposta dos agentes públicos (GELINSKI; SEIBEL, 2008; SOUZA, 2006). Pela complexidade e quantidade de problemas com que lidam os formuladores de políticas públicas somente selecionam algumas delas, as quais serão consideradas na agenda, operando sob incerteza e com alto grau de ambiguidade (GELINSKI; SEIBEL, 2008).

**10) Modelo coalizão de defesa - *Advocacy Coalition*:** Os autores deste modelo defendem subsistemas relativamente estáveis, que se articulam com os acontecimentos externos e cada subsistema que integra uma política pública é composto por um número de coalizões de defesa que se distinguem pelos suas ideias, valores, crenças e pelos recursos de que dispõem (GELINSKI; SEIBEL, 2008).

**11) Modelo arenas sociais - *Policy Networks*:** grupos (*policy community*) que se reúnem ao redor de um determinado assunto, constituindo redes sociais que envolvem vínculos, conexões, trocas que permitem que se criem laços de confiança, além de uma estrutura horizontal de competências, com grande densidade comunicativa entre os seus membros (GELINSKI; SEIBEL, 2008).

**12) Modelo equilíbrio interrompido ou pontuado - *Punctuated Equilibrium*:** A política pública se caracteriza por longos períodos de estabilidade, interrompidos por períodos de instabilidade e que geram mudanças nas políticas anteriores. Na instabilidade mudanças ocorrem a partir da experiência de implementação e de avaliação, gerando uma mudança

serial mais profunda. Explicando por que certas ideias adquirem popularidade e se disseminam ocupando o lugar de questões que até então eram centrais (SOUZA, 2006).

**13) Modelos influenciados pelo gerencialismo público - políticas de caráter participativo:** as políticas públicas passariam a ser focadas na busca da eficiência, credibilidade, delegação e racionalidade. Políticas mais participativas, com a incorporação da sociedade na formulação das políticas públicas e na decisão popular no destino de parcela dos recursos (orçamento participativo). Resultando na universalização do acesso aos serviços e com isso diminuir as desigualdades sociais (GELINSKI; SEIBEL, 2008).

Uma síntese dos principais elementos presentes nas diversas definições e modelos sobre políticas públicas é apresentado no quadro 2.

**Quadro 2** - Elementos presentes nas definições e modelos de políticas públicas

<b>Política Pública</b>
Permite distinguir entre o que o governo pretende fazer e o que, de fato, ele faz.
Envolve vários atores e níveis de decisão, embora seja materializada através dos governos, e não necessariamente se restringe a participantes formais, já que os informais são também importantes.
É abrangente e não se limita a leis e regras.
É uma ação intencional, com objetivos a serem alcançados.
Embora tenha impactos no curto prazo, é uma política de longo prazo.

Fonte: Souza (2006).

Segundo Dye (2011), para saber se os modelos estão contribuindo ou não para as políticas públicas eles devem conter as ações dispostas no quadro 3.

**Quadro 3** - Como saber se os modelos estão contribuindo para as políticas públicas

<b>Ação</b>	<b>Descrição</b>
Ordenar e simplificar a realidade	Entender as relações, realidade e fenômenos
Identificar o que é significativo	Identificar aspectos que realmente são significativos, importantes e suas consequências
Relação com a realidade	Ser congruente com a realidade
Transparência/ informação	Fornece comunicação significativa, informação
Pergunta e investigação	Questionamentos sobre a operação, fenômeno observado, medição e verificação.
Sugerir explicações	Hipóteses, causas e consequências

Fonte: Dye (2011).

### 2.1.6 Processo de elaboração de políticas

O planejamento é um processo de decisão político que depende de informações precisas, transparência, ética, temperança, aceitação de visões diferentes e vontade de

negociar e buscar soluções conjuntamente que sejam aceitáveis para toda a sociedade e principalmente para as partes envolvidas (OLIVEIRA, 2006).

De acordo com Teixeira (2002, p. 2):

Elaborar uma política pública significa definir *quem decide o quê, quando*, com que *consequências e para quem*. São definições relacionadas com a natureza do regime político em que se vive, com o grau de organização da sociedade civil e com a cultura política vigente. Nesse sentido, cabe distinguir “Políticas Públicas” de “Políticas Governamentais”. Nem sempre “políticas governamentais” são públicas, embora sejam estatais. Para serem “públicas”, é preciso considerar a quem se destinam os resultados ou benefícios, e se o seu processo de elaboração é submetido ao debate público.

A construção do planejamento requer a participação dos diferentes atores da sociedade civil e do setor privado (PATRICIO NETTO *et al.*, 2010).

Kingdon (1995) considera que a formulação de políticas públicas é um conjunto de processos que inclui pelo menos o estabelecimento de uma agenda, alternativas para a escolha e a implantação da decisão.

Silva e Bassi (2012) apresentam um modelo composto por seis etapas, descritas no quadro 4.

**Quadro 4 - Processos da política pública**

PROCESSO POLÍTICO	DESCRIÇÃO GENÉRICA DA ETAPA	AGENTES PARTICIPANTES
Identificação do problema	Identificação dos problemas políticos por meio da demanda de indivíduos e grupos de ação governamental	Instituições formais e informais (Responsáveis por identificar este problema por pressões sociais, econômicas, políticas, ambientais ou culturais)
Agenda dos agentes	Atenção na mídia e nos órgãos públicos oficiais sobre problemas públicos específicos para escolher o que será decidido	Instituições formais e informais (Responsáveis por discutir o problema e apresentar demandas ao governo)
Formulação de política	Desenvolvimento da proposta de política pelo interesse de grupos	Instituições formais, informais e o governo (a responsabilidade é compartilhada, mas dependendo do arranjo institucional existente um deles será o responsável por consolidar a formulação da política)
Legitimação da política	Definição da ação e política, tornando-a lei	Governo (Responsabilidade típica do governo que garante a legitimidade da política)
Implementação da política	Implementação da política pelas burocracias, gastos públicos, regulações e outras atividades afins	Governo e Instituições formais, informais (a responsabilidade é compartilhada, mas normalmente é coordenada pelo governo. Em alguns casos é exclusivamente implementado pelo governo)
Avaliação da política	Avaliação continuada da política pública tanto em termos de processo quanto de resultado	Governo e Instituições formais, informais (a responsabilidade é compartilhada, mas o governo deve avaliar a sua política. As instituições formais e informais, exercem uma espécie de auditoria dos resultados e grupo de pressão para melhoria das ações)

Fonte: Silva e Bassi (2012).

O modelo processo é baseado em Saravia e Ferrarezi (2006), o qual é constituído de 7 etapas:

Primeira Etapa: é a criação de uma **agenda** ou da inclusão de determinada necessidade social na agenda, na lista de prioridades, do poder público. Segundo Saravia e Ferrarezi (2006, p. 33):

Na sua acepção mais simples, a noção de “inclusão na agenda” designa o estudo e a explicitação do conjunto de processos que conduzem os fatos sociais a adquirir *status* de “problema público”, transformando-os em objeto de debates e controvérsias políticas na mídia. Frequentemente, a inclusão na agenda induz e justifica uma intervenção pública legítima sob a forma de decisão das autoridades públicas.

Segunda Etapa: **elaboração** é a identificação e delimitação de um problema, com as possíveis alternativas para sua solução ou satisfação, com a avaliação dos custos e efeitos de cada uma delas e o estabelecimento de prioridades (SARAVIA; FERRAREZI, 2006).

Em todos os casos, a identificação do problema é fundamental sob a óptica de estratégia política, em que serão definidas, articuladas e concentradas as atenções dos formuladores de política, determinando o sucesso de uma questão (CAPELLA, 2007).

Terceira etapa: **formulação** é o desenvolvimento da proposta de política relacionada ao interesse de grupos (SILVA; BASSI, 2012). Inclui a seleção e especificação das alternativas consideradas mais conveniente, seguida de declaração que explicita a decisão adotada, definindo seus objetivos e seu marco jurídico, administrativo e financeiro (SARAVIA; FERRAREZI, 2006).

O acesso à informação é necessário para o conhecimento e para o questionamento das ações escolhidas e realizadas, sendo que as consequências e os impactos serão repercutidos na vida da população, assim imprescindível tanto para as primeiras etapas quanto para as etapas posteriores (DYE, 2011).

Quarta etapa: **implementação** é a execução das decisões adotadas na etapa formulação e está relacionada às necessidades de desenvolvimento de melhorias nos processos político administrativos, que possibilitam o incremento das atividades (LIMA; D'ASCENZI, 2013).

Quinta etapa: **execução**, é o conjunto de ações destinado a atingir os objetivos estabelecidos pela política. É pôr em prática efetiva a política, é a sua realização. Essa etapa inclui o estudo dos obstáculos, que normalmente se opõem à transformação de enunciados em resultados, e especialmente, a análise da burocracia (SARAVIA; FERRAREZI, 2006).

Sexta etapa: **acompanhamento** constitui o processo sistemático de supervisão da execução de uma atividade, que tem como objetivo fornecer a informação necessária para introduzir eventuais correções a fim de assegurar a consecução dos objetivos estabelecidos (SARAVIA; FERRAREZI, 2006).

Sétima etapa: A **avaliação** é a área de política pública que mais se desenvolveu nos últimos tempos e pode ser compreendida pela a avaliação dos resultados de um programa em relação aos objetivos propostos (ALA-HARJA; HELGASON, 2000). Deerlin (2001) distingue em três funções básicas atribuídas à avaliação — informação, realocação e legitimação.

A partir de 1960, a avaliação de políticas públicas predominou sobre a função de informação. O foco era a melhorar os programas, e os gerentes tinham interesse em usar a avaliação como mecanismo de *feedback*. A função (re) alocação foi predominante nos anos 1980, durante a segunda etapa de institucionalização, a qual estava claramente destinada a promover uma alocação racional de recursos no processo orçamentário (ALA-HARJA; HELGASON, 2000). Durante a década de 1990, a tônica política na avaliação de políticas passa a ser a função de legitimação.

As avaliações realizadas sobre as ações repercutiram na sociedade e puderam ser utilizadas tanto pelo lado positivo, quanto pelo lado negativo.

Cotta (2001) reconhece que o simples fato de realizar uma avaliação não significa, automaticamente, que as informações produzidas serão utilizadas. Faria (2005) aponta outros possíveis fatores que podem interferir na utilização dos resultados da avaliação: existência de crenças e interesses conflitantes na organização que gerencia o programa; ocorrência de conflitos de interesses entre as distintas unidades do programa; eventual inflexibilidade das regras e dos padrões operacionais da organização, que pode impedir a adoção das recomendações feitas quando da avaliação; mudanças nas condições externas, tais como cortes orçamentários e alterações no ambiente político.

Faria (2005) apresenta quatro tipos de avaliação: a **Instrumental**: depende não apenas da qualidade da avaliação, mas também da adequada divulgação de seus resultados, sua inteligibilidade e da factibilidade das recomendações propostas.

A **Conceitual**: as descobertas da avaliação podem alterar a maneira como esses técnicos entendem a natureza, o modo de operação e o impacto do programa que implementam. Nenhuma decisão ou ação é esperada, pelo menos não imediatamente.

O **Instrumento de persuasão**: quando a avaliação é utilizada para mobilizar o apoio para a posição que os tomadores de decisão já têm sobre as mudanças necessárias na política ou programa.

Por fim o **Esclarecimento**: “acarreta, pela via do acúmulo de conhecimento oriundo de diversas avaliações, impacto sobre as redes de profissionais, sobre os formadores de opinião e sobre as *advocacy coalitions*, bem como alterações nas crenças e na forma de ação das instituições” (FARIA, 2005, p. 103), orientando a agenda governamental.

Para Cotta (2001, p. 91), a avaliação tem sido classificada “em função do seu *timing* (antes, durante ou depois da implementação), da posição do avaliador em relação ao objeto avaliado (interna, externa ou semi-independente) e da natureza do objeto avaliado (contexto, insumos, processo e resultados)”.

A avaliação antes (*ex ante*) sempre foi muito estimulada e induzida nos programas financiados pelos organismos multilaterais de financiamento, especialmente aqueles voltados à infraestrutura econômica e ao desenvolvimento urbano. Essas avaliações consistem em análises de custo-benefício, de custo-efetividade, das taxas de retorno econômico dos investimentos previstos (LOBO, 1998).

A avaliação intermediária, também chamada de formativa, é conduzida durante a implementação de um programa como meio de se adquirir mais conhecimento quanto a um processo de aprendizagem, para o qual se deseja contribuir. O objetivo é dar suporte e melhorar a gestão, a implementação e o desenvolvimento do programa. Com a aplicabilidade direta dos resultados (ALA-HARJA; HELGASON, 2000).

As avaliações posteriores à implementação do programa são chamadas *ex post* ou somativas, e visam trabalhar com impactos e processos, portanto, estuda-se a eficácia e o julgamento do valor geral do programa. A objetividade e a credibilidade dos achados são mais importantes que a aplicabilidade direta dos resultados (ALA-HARJA; HELGASON, 2000; LOBO, 1998).

Arretche (1998) defende que as avaliações precisam ser conduzidas por órgãos independentes. O ponto em questão é a neutralidade da avaliação. Para a autora, é muito difícil que avaliações realizadas pelas próprias equipes governamentais encarregadas da execução de uma dada política seja críveis e isentas.

As avaliações podem ser discutidas em uma arena pública, em que os cidadãos têm pleno acesso às informações, à metodologia empregada e aos resultados alcançados. A avaliação torna-se, desta maneira um verdadeiro instrumento democrático de controle sobre a ação dos governos (ARRETICHE, 1998).

### 2.1.7 Variáveis que influenciam o processo de decisão política

Para entender como as variáveis moldam os processos de decisão política, Kraft e Furlong (2010) oferecem uma breve descrição dos contextos sociais, econômicos, políticos, culturais e de ordem pública:

**1) Contexto social:** Condições sociais são dinâmicas e afetam as decisões de política em suas inúmeras formas. As mudanças sociais alteraram a forma de como o público e os políticos visualizam e agem sobre determinados problemas.

**2) Contexto econômico:** O estado da economia tem um grande impacto sobre quais políticas os governos irão adotar e implementar. Política econômica lida com a inflação e o desemprego, mas a própria economia afeta o desenvolvimento de muitos outros programas. Tomadores de Decisão ficam particularmente preocupados com déficits econômicos, porque isto significava que não poderiam promulgar quaisquer novas iniciativas políticas uma vez que nenhum dinheiro está disponível. Nem podem continuar a financiar programas sem aumentar os impostos, sempre uma opção politicamente pouco atraente. Decisões difíceis sobre as prioridades programas e cortes no orçamento são efetuadas.

Lembrando que as Políticas Públicas dependem de verbas para serem realizadas. É importante a análise dos orçamentos públicos, pois são como instrumentos de definição e articulação de políticas e programas da administração pública, propensos a dar eficácia aos direitos constitucionalmente previstos, além de promover barreiras constitucionais contra eventuais abusos por parte do Judiciário (JACOB, 2013).

**3) Contexto político:** A política afeta as escolhas de políticas públicas em cada etapa, desde a seleção dos formuladores de políticas nas eleições, como os conflitos entre os diferentes grupos. Deve lidar com a força e a influência dos partidos e as diferenças ideológicas entre o público.

Quando os agentes políticos não conseguem chegar a um acordo sobre as medidas a serem tomadas podem decidir não fazer nada, permitindo que os problemas sociais continuem inalterada; ou eles podem chegar a um compromisso temporário que fica aquém de uma solução ideal. Gerando a falta de confiança no governo e afetando a forma como as pessoas julgam os programas de governo.

**4) Contexto governativo:** a estrutura do governo é complexa e possui um impacto importante na formulação de políticas públicas. A autoridade para agir é amplamente dispersa entre instituições e atores políticos. A busca de consenso tem sido difícil por causa de um governo dividido, em função de diferenças filosóficas e a necessidade de satisfazer diferentes



círculos eleitorais. Se os políticos decidem não fazer nada, políticas ultrapassadas e ineficazes continuarão em vigor, e políticas novas e possivelmente mais eficazes não serão aplicadas e desenvolvidas.

**5) Contexto cultural:** Cultura política refere-se a valores amplamente difundidos, crenças e atitudes: tais como a confiança no governo e no processo político, ou a falta dela. Cultura política, inclui também o compromisso com o indivíduo, direitos de propriedade, liberdade, pragmatismo ou praticidade, igualdade e valores. Influência sobre determinadas assuntos e perspectivas como moralidade, crime, educação, programas de planejamento familiar, o direito ao aborto, política internacional, o papel das mulheres na sociedade, entre outros.

#### 2.1.8 Como decidir a melhor política, utilizando múltiplos critérios

Kraft e Furlong (2010) sugerem que os cidadãos, analistas e formuladores de políticas precisam estar cientes dos múltiplos critérios que podem ser usados para julgar o valor de políticas e programas governamentais. Os critérios são:

1)**Eficácia:** Refere-se a uma política ou programa atual que está sendo considerado ou é susceptível de ser aplicado, ou seja, faz diferença se uma proposta é tecnicamente possível.

2)**Eficiência:** se refere ao que uma política ou proposta de política em relação aos custos e benefícios esperados para a sociedade. Assim, a política analisa propostas para a viabilidade econômica, significa perguntar se é "acessível" ou será considerado uma boa utilização dos fundos públicos em uma época quando todos esses programas competem por fundos.

3)**Equidade:** refere-se à consideração do que constitui uma opção política justa ou equitativa. Que seja, um caminho para programas considerarem os custos e benefícios que serão distribuídos entre os cidadãos, além de analisar se o processo é aberto e justo para todos os interessados.

4)**Viabilidade:** preocupações políticas envolvendo como funcionários do governo e outros atores políticos avaliam a aceitação de uma proposta, ou seja, se as propostas estão de acordo com os seus julgamentos. Em uma democracia, os formuladores de políticas devem considerar as preferências, reações do público e grupos de interesse no desenvolvimento de políticas.

Para finalizar o subcapítulo 2.1 são apresentados alguns exemplos de políticas públicas.

### 2.1.9 Política Nacional de Resíduos Sólidos

O presente subcapítulo apresenta um exemplo de política pública a Lei nº. 12.305/2010, a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Apesar de recente ela passou 21 anos tramitando e sendo discutida com a participação de órgãos públicos, representantes dos setores privados, movimentos sociais e da sociedade civil (FUGII; BOLSON; SILVA, 2018). Foi depois da aprovação na Câmara dos Deputados, em 11 de março de 2010, e no senado federal, em 7 de julho de 2010, o então Presidente da República Luís Inácio Lula da Silva sancionou a Lei Federal nº. 12.305/2010 (FUGII; BOLSON; SILVA, 2018).

De modo geral, a PNRS é composta por quatro títulos compreendendo mais de dez capítulos são: objeto e campo de aplicação, definições, disposições gerais, princípios e objetivos, instrumentos, disposições preliminares, planos de resíduos sólidos, responsabilidade dos geradores e do poder público, resíduos perigosos, instrumentos econômico, proibições e disposições transitórias e finais (BRASIL, 2010a).

De acordo com o Artigo 4º a Lei agrupa o conjunto de objetivos, princípios, instrumentos, metas, diretrizes e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, visando à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010a).

O Artigo 6º apresenta os princípios da PNRS descritos no quadro 5:

**Quadro 5 - Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos**

<b>Princípio</b>	<b>Descrição</b>
I	A prevenção e a precaução
II	O poluidor-pagador e o protetor-recebedor
III	A visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública
IV	O desenvolvimento sustentável
V	A ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta
VI	A cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade
VII	A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos
VIII	O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania
IX	O respeito às diversidades locais e regionais
X	O direito da sociedade à informação e ao controle social
XI	A razoabilidade e a proporcionalidade

Fonte: Brasil (2010a).

Já o Artigo 7º descreve os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos apresentados no quadro 6:

**Quadro 6 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**

<b>Objetivo</b>	<b>Descrição</b>
I	Proteção da saúde pública e da qualidade ambiental
II	Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos
III	Estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços
IV	Adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais
V	Redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos
VI	Incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados
VII	Gestão integrada de resíduos sólidos
VIII	Articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos
IX	Capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos
X	Regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº. 11.445, de 2007
XI	Prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para: a) produtos reciclados e recicláveis; b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
XII	Integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos
XIII	Estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto
XIV	Incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético
XV	Estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável

Fonte: Brasil (2010a).

O Artigo 8º apresenta os instrumentos da PNRS, destaque para o inciso VII, o qual menciona a pesquisa científica e tecnológica o que está relacionado com o trabalho. No próximo subitem é apresentado outros exemplos de políticas públicas.

#### 2.1.10 Estatuto da Cidade e da Metrópole

Além da PNRS como exemplo de política pública no capítulo sobre o tema é necessário citar também outros dois marcos no desenvolvimento e planejamento das cidades.

Os estatutos da Cidade (BRASIL, 2001) e da Metrópole (BRASIL, 2015) são marcos legais para o planejamento e a gestão integrada das cidades, englobando diversas políticas setoriais. Uma vez que seu planejamento possui diretrizes para funções públicas de interesse

comum, englobando projetos estratégicos e ações prioritárias para os investimentos, que podem vir da União (BRASIL, 2015).

Além disso, o Estatuto da Metrópole prevê questões essenciais para o funcionamento de uma sociedade, como: gestão democrática com a participação da sociedade civil nos processos de planejamento e de tomada de decisão, compartilhamento de responsabilidades, desenvolvimento sustentável, efetividade do uso do recurso público e acompanhamento dos serviços prestados e compatibilidade com os planos plurianuais, leis de diretrizes orçamentárias e orçamentos anuais (BRASIL, 2015).

Possibilitando também os consórcios públicos, contratos de gestão e convênios de cooperação (BRASIL, 2015), que são importantes para o caso da gestão de resíduos sólidos, porque permite uma integração entre diversos atores e conseqüentemente desenvolvimento nas áreas sociais, econômicas, políticas, institucionais e ambientais.

## **2.2 Ciência, tecnologia e sociedade**

Os problemas relacionados principalmente pela falta de gestão de resíduos sólidos urbanos afetam diretamente a sociedade, portanto, um subcapítulo que relacione o papel da Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) na proposição de possíveis soluções faz-se necessário.

A ciência e seus desdobramentos devem atender, assim como as políticas públicas, as demandas da sociedade. O presente capítulo aborda as possibilidades de desenvolvimento tecnológico com a participação da sociedade, a qual é essencial para a geração de tecnologias diferenciadas.

Segundo Pinch e Bijker (1990), quando há possibilidades de solução puramente técnica para um problema, a escolha é feita ao mesmo tempo pela via técnica e política. A escolha política passará incorporar a tecnologia, além dos critérios sociais (NOVAES; DIAS, 2010). Logo é necessária uma atenção à política, bem como para a Tecnologia, seu significado e outras questões relacionadas aos aspectos sociais, a Tecnologia Social e o papel das Universidades.

Uma possibilidade dentro da cadeia de resíduos sólidos urbanos é o financiamento de pesquisas, através de uma economia circular, especificamente no desenvolvimento de tecnologias que atendam às necessidades da sociedade dentro do sistema.

Desta forma, os subcapítulos seguintes abordaram de que forma o campo de CTS pode contribuir para uma melhora na área de gestão de resíduos sólidos urbanos.

### 2.2.1 Tecnologia e a universidade

Segundo Vaccarezza (2004), o campo CTS é multidisciplinar e possui uma variedade de problemas e objetivos de análise, como: políticas, construção de saberes, inovação, gestão, entre outros.

De acordo com López Cerezo (2000), o campo de Ciência, Tecnologia e Sociedade é amplo e necessita de pesquisas para entender os fenômenos científico-tecnológico no contexto social, suas relações e consequências. Logo compreender um pouco as atividades da Universidade, da Tecnologia e por seguinte a Tecnologia em específico a Tecnologia Social é importante para as consequências no interior da sociedade.

Dentro de uma matriz de problemas apresentadas por Vaccarezza (2004), a pesquisa aborda as questões relacionadas a problemas de política científica e tecnológica, problemas de vinculação entre ciência e produção e impacto social da mudança tecnológica.

Desta forma, esse subcapítulo começa abordando as questões relacionadas à tecnologia. Para Feenberg (2010) é necessária uma alteração nos padrões de concepção do que vem a ser tecnologia e a sua definição, que carrega o estigma da racionalidade e da eficiência, em detrimento de sua dimensão social.

Pinto (2013) distingue quatro significados diferentes para a tecnologia (quadro 7), sendo a primeira definição a mais importante para a compreensão das outras e as derivações acerca do tema.

**Quadro 7 - Acepções do termo tecnologia**

Acepção	Significado
Primeira	Etimológico, a tecnologia tem de ser a teoria, o estudo, a ciência, a discussão da técnica, as habilidades do fazer, as profissões e de forma generalizada os modos de produzir algo. Sentido primordial, cuja interpretação será essencial para as demais. A tecnologia é o valor fundamental e exato de logos da técnica
Segunda	Tecnologia equivalente pura e simplesmente a técnica. Constitui o sentido mais frequente e popular da palavra, o usando na linguagem corrente, quando não se exige precisão maior. As duas palavras são intercambiáveis no discurso habitual, coloquial e sem rigor. Como sinônimo, aparece como <i>know how</i> , essa equivalência de significados da palavra será fonte de perigosos enganos no julgamento de problemas sociológicos e filosóficos suscitados pelo intento de compreender a tecnologia
Terceira	Ligado ao significado anterior, entendido como o conjunto de todas as técnicas de que dispõe uma determinada sociedade, em qualquer fase histórica de seu desenvolvimento. A importância desta acepção reside ser a ela que se costuma fazer menção quando se procura referir ou medir o grau de avanço do processo das forças produtivas de uma sociedade
Quarta	A palavra tecnologia menciona a ideologia da técnica

Fonte: Pinto (2013).

Entender a definição de tecnologia é parte importante para compreender a nossa atual realidade, porém se faz necessário saber outras questões relacionadas à tecnologia e seus desdobramentos, antes de sua apropriação, uso e adaptação na sociedade.

No desenvolvimento de novos projetos devemos atentar para as ideologias e valores presentes nas tecnologias, o que não é fácil, porque corroboram à determinados interesses, como os políticos e econômicos.

Nesse cenário, e talvez porque para muitos que começam a pôr em prática um outro projeto já esteja claro sua inviabilidade, é natural que se difundisse a preocupação com as bases tecnológicas de um processo que permita a recuperação da cidadania dos segmentados mais penalizados, a interrupção da trajetória de fragmentação social e estrangulamento econômico interno do país e a construção de um estilo de desenvolvimento sustentável (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2010, p. 83).

A tecnologia é utilizada para alimentar o poder e sabendo disso as minorias dominantes acabam utilizando-a para instituir novas formas, mais eficazes e agradáveis de controle e coesão social. Ou seja, a sociedade industrial tecnológica, por meio de sua racionalidade tecnológica e de seus produtos, doutrinam e manipulam o padrão de pensamento e comportamento unidimensionais na sociedade, promovendo o controle social e conseqüentemente sua dominação, manipulando as necessidades, impedindo o surgimento de oposições à elite dominante (MARCUSE, 1972).

Isso é reforçado pela Indústria Cultural, que cruza o cotidiano da sociedade na forma de produtos, mercadorias e acaba transformando o comportamento, passando determinadas ideologias e valores, a fim de domesticar e manipular a sociedade. Desta forma a Indústria Cultural, obscurece a percepção dos indivíduos, inclusive os formadores de opinião (ADORNO, 2002).

A ideia de uma tecnologia ser melhor do que outra, na verdade substitui a noção de que certas tecnologias são adequadas para determinados fins e para outros não, dificultando a percepção de que algumas são funcionais para a reprodução do capital, ainda que deturpem valores morais e ambientais e que sigam pouco contestadas devido ao controle hegemônico (DAGNINO, 2010a).

A minoria dominante está presente em todas as áreas, a fim de reforçar seu poder e sua manutenção sobre a maioria. A passagem seguinte relata as ações de quem domina e em que contexto a maioria acredita nascer a ciência (sem efeitos colaterais, livre de erro), a tecnologia e o apoio às inovações.

De acordo com Kreimer (2009), o conhecimento desenvolvido por parte de cientistas em seus laboratórios é orientado por interesses particulares/privados, os quais financiam pesquisas e a construção de laboratórios, estabelecendo uma série de negociações e acordos, cujos objetivos estão diretamente ligados à *status* e renome isto com que faz muitos pesquisadores participarem de determinados círculos/ redes de pesquisa, possibilitando publicações e credibilidade, que por fim servirá para a manutenção de uma minoria dominante que detêm o controle social, não atendendo às necessidades da sociedade.

De acordo com Dagnino (2010a), as instituições (as universidades são uma delas) são organizadas conforme a opinião, prestígio e poder de seus líderes e suas redes sociais. O acúmulo de poder proporcionado pelo prestígio, não está ligado a uma capacidade técnica para decidir sobre qual atividade de docência e pesquisa estaria mais adequada para a sociedade.

Para o mesmo autor:

A falta de confiança no planejamento leva a que a universidade não estabeleça uma política de pesquisa, não discuta o profissional que forma. E, em consequência, corre o risco de formar gente para o passado, não para o presente e muito menos para futuro. A política de pesquisa é formulada por *default*, ela não é programada – é o resultado de um conjunto de projetos amorfo, mas sempre aderente às características da TC. Não há uma agenda de pesquisa, no sentido estrito da palavra; há uma decisão por omissão (DAGNINO, 2010a, p. 68-69).

Varsavsky (1969) defende uma ciência politizada, que contribua para a libertação do povo, mudança social, ou seja, uma ciência do povo. Para tanto é necessário combater o colonialismo cultural e conseqüentemente o cientificismo.

Opondo-se à atuação do cientificista, está aquele pesquisador configurado ao mercado científico, que renuncia à preocupação com o significado social de sua atividade, e que aceita as normas, valores e temas dos grandes centros internacionais em sua empreitada profissional, com a intenção de fazer parte dos altos círculos da ciência, e que por fim coloca sempre em desvantagem à sociedade e seus conflitos (VARSAVSKY, 1969).

Como muitas pesquisas na América do Sul são realizadas nas universidades e por professores pesquisadores, Dagnino (2010a) menciona algo preocupante. Alguns professores universitários possuem a ideia de ciência como neutra, livre de valores e intrinsecamente positiva (principalmente áreas relacionadas as engenharias, informação, saúde e farmacologia).

Esta visão, faz com que a sociedade seja inibida a mudanças sociais. Desta forma Dagnino (2010a) complementa a ideia que a ciência e a tecnologia são geradas pelo amparo

da formação social capitalista, a qual tende a bloquear uma mudança que contrarie suas regras.

A consequência disso é o pensamento destacado por Dagnino (2010a, p.65): “Se a sociedade não utiliza o conhecimento produzido na universidade, o problema é da sociedade”. Mas se o que é produzido não atender às reais demandas para sociedade, a qual não é seria consultada, o conhecimento produzido não se consolidará.

Como no Brasil parte das pesquisas está relacionada às universidades e instituições públicas, elas necessitam dar um retorno para sociedade no sentido de melhora na qualidade de vida, bem como de caminhos para lidar com questões de cunho social, cultural, ambiental, gênero entre outras que acabam sendo negligenciadas. Retorno este não apenas na forma de artigos (os quais possuem limitações de acesso e interpretação), extensões, projetos comunitários, mas sim de ações, conhecimentos, produtos, tecnologias que possam contribuir no trabalho, na comunidade, na cooperativa, nas escolas, entre outras demandas.

Possibilitando a independência da dependência tecnológica, que possui efeitos e consequências nocivas aos países que a recebem, Tabak (1975) menciona que só ocorrerá mudanças em função de profunda reforma na universidade, direcionando-a no sentido de adequá-la melhor aos problemas nacionais.

Varsavsky (1976, p. 69), já demonstrava que: “as características desejáveis na universidade são incompatíveis com a sociedade atual e exigem a transformação simultânea de ambas; no caso, “simultânea” quer dizer que tanto a universidade como todos os outros setores da sociedade atuem em interação dialética a favor desta transformação.

Existem diferentes possibilidades para a geração de ciência, mas o sistema só cria aquilo que o mantém e justifica a sua existência (VARSAVSKY, 1969). Como alterar esta atual situação? Segundo Feenberg (2002), a construção social da tecnologia com a apropriação e o um novo projeto de Ciência e Tecnologia é a solução. Ela envolveria diferentes atores com a participação democrática no processo de trabalho, desenvolvimento das capacidades intelectuais dos trabalhadores, saúde no trabalho e no impacto da técnica para com os consumidores, respeito a liberdade e dignidade humana, além de variáveis ambientais, geradoras de trajetórias coerentes com estilos alternativos.

Varsavsky (1969) propõe estudos interdisciplinares os quais têm como objetivo resolver os problemas reais, trabalhando as questões ligadas ao útil-social, colaborando com as tomadas de decisões e possibilitando alternativas e estratégias de ação em prol dos objetivos de uma comunidade.



Feenberg (2010) salienta que os sistemas e códigos técnicos não são práticas fixas, ou seja, são práticas flexíveis. É um caminho possível para alterações técnicas, através de um estudo aprofundado, com a criação de códigos técnicos democráticos, somados à mudanças políticas. Isso significa a possibilidade de mudança e conquista de uma variedade de demandas sociais, inclusive para os grupos excluídos, possibilitando uma outra realidade (FEENBERG, 2010).

Sendo a democracia um conceito essencial na proposta de Feenberg (2010), e que deveria estar inserido em todos os espaços e dimensões da vida social na sociedade (essencial para políticas públicas diferenciadas), seríamos formadores de instituições sociais, sem conflitar com as bases tecnológicas hegemônicas enquanto inimiga.

O subcapítulo traz a compreensão e a necessidade do campo CTS como base analítica, considerado essencial para formação de tecnologias diferenciadas e democráticas que alteram realidades principalmente dos atores que estão à margem das discussões. A proposta mais adequada de políticas públicas seria aquela que trabalharia com a Tecnologia Social e a Adequação Sóciotécnica, descritos no próximo subcapítulo.

## 2.2.2 Tecnologia social e adequação sociotécnica

Vaccarezza (2004) menciona que a falta de investimentos em ciência e tecnologia e a dependência do Estado como fomentador de pesquisas faz com que haja discrepância nas patentes e produções científicas entre os países da América Latina e os países desenvolvidos.

Apesar de certos setores da economia começarem a prestar atenção nos insumos de conhecimento local, o alcance parece ser extremamente modesto. Tanto os recursos envolvidos, quanto o conhecimento tecnológico produzido ou utilizado, são caracterizado, pelas baixas propostas sobre a função ou localização da ciência e tecnologia na resolução dos problemas regionais (VACCAREZZA, 2004).

Dagnino (2010a) desenvolve o aspecto de Tecnologia Social (TS) que indica a importância do desenvolvimento do campo dos Estudos Sociais da Ciência e da Tecnologia (ESCT) para a compreensão de possíveis aberturas dos conceitos tradicionais de tecnologia enquanto inovação, técnica e termômetro do desenvolvimento econômico.

Suscita a condição de que a Tecnologia Convencional (CT) não dá conta da Inclusão Social (IS) necessária para o desenvolvimento da Tecnologia Social (TS). A Tecnologia Convencional se caracteriza pela escala de produção ótima do trabalho, controle sobre os

trabalhadores, ritmo de produção, além dos efeitos sobre o meio ambiente, entre outros (DAGNINO, 2010a; DAGNINO, 2010b).

Desta maneira a compreensão de que a tecnociência realiza um papel decisivo na redução ou manutenção de desigualdades sociais é central para o conceito de tecnologia social (LIMA; DAGNINO, 2013).

No Brasil a TS nasce nos anos 2000, como uma ideia alternativa à Tecnologia Convencional. Seus atores estavam preocupados com o aumento da exclusão social, informalização e precarização do trabalho e da necessidade de uma tecnologia que revisse e criticasse esses problemas. Assim a partir do ano de 2003 formou-se a Rede de Tecnologia Social (DAGNINO, 2010b).

Lima e Dagnino (2013) descrevem que o objetivo da Rede de Tecnologia Social é promover o desenvolvimento sustentável a partir da reaplicação em escala de tecnologias sociais desenvolvidas pela interação com a comunidade e que oferecem efetivas soluções de transformação social, através de produtos, metodologia e técnicas.

De acordo com Fonseca e Serafim (2009), a Rede de Tecnologia Social propõe uma rede de ação, de comunicação, de informação e de articulação sobre tecnologias sociais existentes e a serem desenvolvidas e aplicadas no Brasil.

Segundo Costa (2013), a TS é pensada de forma ampla e para diferentes camadas da sociedade. Segundo o autor, o emprego do adjetivo “social” não significa apenas a necessidade de tecnologia para os pobres ou para países subdesenvolvidos, mas faz também a crítica ao convencional modelo de desenvolvimento tecnológico. Propõe uma forma mais solidária e sustentável de tecnologia para toda sociedade, incitando a participação, empoderamento e autogestão de seus usuários (COSTA, 2013).

Dagnino (2010b) define Tecnologia Social no Brasil, sendo como: “produtos, técnicas e/ou metodologias reaplicáveis, desenvolvidas na interação com a comunidade e que representam efetivas soluções de transformação social”.

O autor (2010a) apresenta como é ou deveria ser a Tecnologia Social:

- A) Adaptada a pequeno tamanho;
- B) Liberdade de criatividade do produtor direto, além do potencial físico e financeiro;
- C) Não discriminatória (Não há relação uma hierárquica entre patrão e empregado);
- D) Possibilita a viabilidade econômica de empreendimentos autogestionários;
- E) Orientado para o mercado interno de massa.

O Conceito de TS parte dos princípios, críticas e contribuições da Tecnologia Apropriada (TA), que ficou assim conhecida através dos escritos do economista alemão Schumacher na década de 1970. No entanto, sua origem advém das ideias sobre desenvolvimento de Gandhi (1924 – 1927), que insistia na condição de proteção dos artesanatos das aldeias como uma forma de melhoramento das técnicas locais e o respeito ao meio ambiente e a cultura local. Um exemplo, é a popularização da fiação manual por roca de fiar, reconhecida como o primeiro equipamento tecnologicamente apropriado, que fez frente às injustiças sociais e ao sistema de castas na Índia. Seu objetivo era transformar a sociedade hindu, através de um processo de crescimento orgânico, feito a partir de dentro e não de imposição externa. Seria a produção pelas massas, não uma produção em massa (DAGNINO, 2010a).

Para Costa (2013), os principais elementos constituintes da Tecnologia Social são a utilização do conhecimento local e a participação da população no processo. Compreender o conhecimento local leva o pesquisador a extrair seus conteúdos principais para relacioná-los com conhecimentos científicos, de modo que se criem novas abordagens para resolver velhos problemas.

A participação da população é sugerida como forma de garantir a efetividade da solução tecnológica, os grupos vivenciam seus problemas aliados a seus conhecimentos e suas diferentes formas de saberes. Eles conferem capacidades de participar do processo de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia. Nessa perspectiva, a proposta da Tecnologia Social defende o desenvolvimento e utilização de tecnologias para inclusão social, com base na compreensão de que homens e mulheres devem estar envolvidos em um constante processo de ação e reflexão, de modo que a interação entre indivíduo e tecnologia permita expressar ações que valorizem uma sociedade mais justa, inclusiva e sustentável (COSTA, 2013).

De acordo com o Instituto de Tecnologia Social (2004), a construção e a reflexão sobre o conceito de Tecnologia Social devem: melhorar as práticas sociais e contribuir para que a geração do conhecimento seja construído abordando soluções para os problemas sociais e ampliando as fronteiras da cidadania.

Para incorporar características distintas à Tecnologia Convencional, a Tecnologia Social precisa ser desenvolvida a partir da reflexão com o seu contexto de utilização, assim como o envolvimento direto de grupos sociais interessados na viabilização, como por exemplo, dentro de uma perspectiva de economia solidária. Assim, a TS seria uma proposta realmente adequada aos empreendimentos solidários, permitindo coerência e adesão às necessidades e valores (LIMA; DAGNINO, 2013).

Dagnino (2010b) defende uma nova cultura institucional que favoreça a Tecnologia Social, viabilizando uma agenda de formação de recursos humanos e pesquisa coerente, contemplando os diversos atores sociais, que podem potencializar a mudança social, como por exemplo cooperativas de reciclagem e catadores excluídos.

O processo de construção sociotécnica é um elemento essencial no marco analítico conceitual de Tecnologia Social. Cabe ressaltar o papel das tecnologias ou sistemas sociotécnicos para a manutenção ou superação de modos de produção e modos de vida.

Segundo Dagnino, Brandão e Novares (2010), só é possível compreender o desenvolvimento de um artefato tecnológico atentando-se a relação de forças entre os vários grupos envolvidos e o estudo do contexto sociopolítico.

Para os autores (2010, p. 90):

... Identificar e “seguir” os grupos sociais relevantes envolvidos no desenvolvimento de um artefato é o ponto de partida das pesquisas realizadas pela abordagem do contexto que consideram a possibilidade de a tecnologia ser uma construção social, e não o fruto de um processo autônomo, endógeno e inexorável como concebe o determinismo.

Dagnino, Brandão e Novares (2010) citam Bijker para relatar as etapas da construção sóciotécnica, as quais definem as características dos artefatos tecnológicos a partir de uma negociação entre grupos sociais relevantes, com interesses e preferências distintas que ao passar por uma “estabilização” os grupos alcançariam um “fechamento”.

Os autores (2010) ao citarem Feenberg, mencionam a existência de potencialidades técnicas que estão inexploradas e tendem a desaparecer, se não forem respeitadas as culturas locais.

A tecnologia passa então a ser entendida como um espaço de luta social no qual projetos políticos alternativos estão em pugna, e o desenvolvimento tecnológico é delimitado pelos hábitos culturais enraizados na economia, na ideologia, na religião e na tradição. O fato de esses hábitos estarem tão profundamente arraigados na vida social a ponto de se tornarem natural, tanto para os que são dominados como para os que dominam, é um aspecto da distribuição do poder social engendrado pelo capital que sanciona a hegemonia como forma de dominação (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2010, p. 95-96).

Desta forma compreender a tecnologia, o que ela é e o que está por trás dela ao utilizá-las e as precauções que devem ser feitas no desenvolvimento ou adaptações de tecnologias, colaborando para pensar escolhas e controles democráticos limitadores (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2010).

O que leva a Adequação Sociotécnica (AST) como operacionalização da Tecnologia Social, pode ser descrita como processo que tem o intuito de promover uma adequação do conhecimento tecnológico e científico não somente com finalidade técnico econômica mas englobando também aspectos de natureza socioeconômica e ambiental que constituem a relação com CTS. Desta maneira os artefatos tecnológicos vão adquirindo as características dos grupos sociais (DAGNINO; BRANDÃO; NOVAES, 2010).

A operacionalização do conceito de adequação sociotécnica pode-se ser dividido em sete modalidades apresentadas no quadro oito.

**Quadro 8 - Operacionalização da adequação sociotécnica**

<b>Modalidade</b>	<b>Definição</b>
Uso	O simples uso de tecnologia (formas de organização do processo de trabalho, máquinas) antes empregadas (no caso de empresas falidas e transformadas em cooperativas) ou a adoção de tecnologia convencional, com a condição de que se altere a forma como se reparte o excedente gerado.
Apropriação	Processo que tem como condição a propriedade coletiva dos meios de produção, com uma ampliação do conhecimento, por parte do trabalhador, dos aspectos produtivos e dos processos, sem que exista qualquer modificação no uso concreto que deles se faz
Revitalização ou repotenciamento das máquinas e equipamentos	Significa não só o aumento da vida útil dos equipamentos e maquinários, mas também ajustes, recondicionamento e revitalização do maquinário. Supõe ainda a fertilização das tecnologias “antigas” com componentes novos
Ajuste do processo de trabalho	Implica a adaptação da organização dos processos de trabalho à forma de propriedade coletiva dos meios de produção, o questionamento da divisão técnica do trabalho e a adoção progressiva do controle operário (autogestão)
Alternativas tecnológicas	Implica a percepção de que as modalidades anteriores, inclusive a adoção do processo de trabalho, não são suficientes para dar conta das demandas por AST dos empreendimentos autogestionários, sendo necessário o emprego de tecnologias alternativas à convencional. A atividade decorrente dessa modalidade é a busca e a seleção de tecnologias existentes
Incorporação de conhecimento científico-tecnológico existente	Resulta do esgotamento do processo sistemático de busca de tecnologias alternativas e na percepção de que é necessária a incorporação à produção de conhecimento científico tecnológico existente, ou o desenvolvimento, a partir dele, de novos processos produtivos ou meio de produção, para satisfazer as demandas por AST. Atividades associadas a essa modalidade são os processos de inovação de tipo incremental, isolados ou em conjunto com centros de pesquisa e desenvolvimento ou universidades
Incorporação de conhecimento científico-tecnológico novo	Resulta do esgotamento do processo de inovação incremental em função da inexistência de conhecimento suscetível de ser incorporado a processos ou meios de produção para atender às demandas por AST. Atividades associadas a essa modalidade são processos de inovação de tipo radical que tendem a demandar o concurso de centro de pesquisa e desenvolvimento ou universidades e que implicam a exploração da fronteira do conhecimento

Fonte: Dagnino, Brandão e Novaes (2010).

O próximo subitem descreverá a Dinâmica de Sistemas, um dos pilares para o desenvolvimento desta pesquisa.

## 2.3 Dinâmica de Sistemas

O presente capítulo traz uma breve introdução sobre a metodologia de Dinâmicas de Sistemas (DS), apresentando definições e algumas pesquisas para a familiarização da ferramenta.

### 2.3.1 Introdução à Dinâmica de Sistemas

De acordo com Aracil (1983), a tomada de decisão é feita a partir de várias alternativas possíveis. Desta maneira, a relação que liga as possíveis ações com seus efeitos é precisamente, um modelo de sistema.

Um modelo constitui uma representação abstrata de um certo aspecto da realidade e possui uma estrutura formada por elementos que caracterizam o aspecto da realidade modelada e as relações entre os elementos que compõem o modelo (ARACIL, 1983).

Para Forrester (2013), um modelo deve ser capaz de alcançar vários objetivos e deve seguir as seguintes características: descrever qualquer declaração da relação causa e efeito que se deseja incluir; Ser simples na natureza matemática; Sinônimo em nomenclatura para terminologia industrial, econômica e social; Concedido a um grande número de variáveis, sem exceder os limites práticos e capaz de lidar com interações contínuas, no sentido de quaisquer descontinuidades artificiais introduzidas por intervalos de tempo. Deve, contudo, ser capaz de gerar descontínuas mudanças na decisão quando esta for necessária (FORRESTER, 2013).

Para García (2004), a dinâmica de sistemas encontra suas principais aplicações em ambientes complexos e mal definidos, em que as decisões dos seres humanos são guiadas pela lógica.

Forrester (1971) menciona que modelos são simplificações do atual sistema e que há dois modelos: os computacionais e os mentais, sendo que os computacionais podem ser mais compreensivos do que modelos mentais.

As tendências recentes na dinâmica de sistema visam mudar os modelos mentais que as pessoas usam para representar o mundo real. Para tanto, é necessário que uma pessoa esteja suficientemente envolvida no processo de modelagem, para internalizar lições sobre comportamento de *feedback* dinâmico (FORRESTER, 1995).

As incertezas dos modelos mentais surgem da incapacidade de antecipar as consequências das interações entre partes de um sistema, o que gera implicações dinâmicas

futuras de suposições em um modelo, sendo totalmente eliminada em modelos de computador (FORRESTER, 1971).

A partir de um conjunto estabelecido de suposições, o computador traça as consequências resultantes sem dúvida ou erro, caracterizando um procedimento poderoso para esclarecer questões (FORRESTER, 1971).

Os modelos de simulação de dinâmica de sistemas são explícitos sobre suposições e como elas se relacionam. Um conceito que pode ser claramente descrito em palavras, pode ser incorporado em um modelo de computador. A construção de um modelo de computador possibilita o esclarecimento de ideias e as suposições obscuras são expostas, para que possam ser examinadas e debatidas (FORRESTER, 1971).

Outros modelos matemáticos são limitados, porque não aceitam o laço de *feedback* múltiplo e a natureza não linear dos sistemas reais. Por outro lado, modelos de computador de dinâmica de sistemas podem refletir o comportamento de sistemas reais. Modelos de dinâmica de sistemas mostram como as dificuldades com os sistemas sociais reais surgem e demonstram por que tantos esforços para melhorar os sistemas sociais falharam (FORRESTER, 1971).

Desta forma os modelos computacionais construídos são superiores aos modelos intuitivos, desenvolvidos nas cabeças das pessoas, assim modelos realísticos podem ser criados em laboratórios (FORRESTER, 1971).

Assim, a dinâmica de sistemas tenta incluir em seus modelos formais (matemáticos), os aspectos subjetivos dos modelos mentais tradicionalmente empregados. Visto que a mente humana não está capacitada para projetar a tempo as inter-relações que se produzem em todas as partes que compõem o modelo (ARACIL, 1983).

Aracil (1995) apresenta outra definição relacionada a ferramenta, a dinâmica, a qual está relacionada a movimento ou mudança. Logo, a dinâmica em um sistema está atrelada distintas variáveis que podem se associar e sofrer mudanças ao longo do tempo. Além de movimento, a dinâmica também está relacionada a força e a determinação que a gera (ARACIL, 1995).

De acordo com Churchman (2015), os sistemas são compostos por conjuntos de componentes que atum na execução do objetivo do todo. Von Bertalanffy (2015) define um sistema como um complexo de elementos em interação. Um sistema é constituído de uma unidade cujos os elementos inter-relacionam juntos, já que continuamente se afetam, de modo que operam com uma meta comum (ARACIL, 1995).

De acordo com Bardach (2006), a estrutura de um sistema consiste em: (1) seus elementos constitutivos, (2) as regras de suas interações, e (3) as informações exigidas pelo sistema para aplicar as regras.

A análise de um sistema é a sua dissecação, pelo menos, conceptualmente, para definir as partes que o formam. No entanto, a mera análise de um sistema não é suficiente. Para entender seu comportamento, é necessário saber como elas se encaixam; quais são os mecanismos através dos quais a coordenação ocorre (ARACIL, 1995).

O estudo de um sistema, passa por sua análise e síntese. A análise, permite conhecer as partes de um sistema, a síntese fornece a integração dessas partes dentro do sistema (ARACIL, 1995). A dinâmica de sistemas trata de expressar como estão relacionados sua estrutura e o seu comportamento.

Segundo Villela (2005), a Dinâmica de Sistemas (do termo em Inglês: *System Dynamics*) foi desenvolvida e proposta na década de 1950, pelo engenheiro eletricitista Jay Forrester, no curso de administração da *Sloan School of Management* do *Massachusetts Institute of Technology* - MIT.

A primeira aplicação de Forrester foi uma análise em uma empresa americana, verificando as oscilações nas vendas desta empresa, a partir deste estudo foi publicado o livro *Industrial Dynamics*, seminal para a área de dinâmica de sistemas (SIMONETTO; LÖBLERB, 2012).

Senge (2016) define a dinâmica de sistemas como uma metodologia para a construção de modelos de simulação em computador, com o objetivo de estudar o comportamento dos sistemas. Villela (2005), aponta que a dinâmica de sistemas se presta para a identificação das características básicas de qualquer sistema, suas relações de causa e efeito, tempos de resposta e efeitos de realimentação.

Segundo Dyson e Chang (2005), a dinâmica de sistemas fornece ferramentas eficazes para uma melhor compreensão dos problemas de grande escala e é uma metodologia bem estabelecida para estudar e gerenciar sistemas complexos de *feedback*. Permitindo que um sistema seja representado por um processo de realimentação, com estruturas de estoque e fluxo, para ajudar a determinar o sistema dinâmico (FAN *et al.*, 2018).

Sua estrutura possui algumas características como: ampliação, atrasos de tempo e *feedback* de informação, em que a amplificação ocorre através do *feedback*. O modelo de dinâmica de sistemas possibilita examinar o comportamento de sistemas complexos a longo prazo, na medida em que o comportamento desses modelos é avaliado ao longo do tempo (FAN *et al.*, 2018).



A dinâmica de sistemas é projetada para lidar com interações lineares e não-lineares, sistema de grande escala, complexo e dinâmico. Ela possui a capacidade de lidar com suposições dinâmicas, assim facilitando o controle dos efeitos das mudanças nos subsistemas e inter-relações de elementos no sistema holístico (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016).

Um objetivo da dinâmica de sistemas é formalizar o processo de construção de modelos, de modo a serem úteis e objetivos (ARACIL, 1983). A metodologia sistêmica busca contribuir com instrumentos que servem para estudar aqueles problemas que resultam da interação que se produz no seio de um sistema e não das disfunções das partes consideradas isoladas (ARACIL, 1995).

Um modelo de DS e a análise de sistemas complexos são realizados com o auxílio de um *software* de simulação de computador, o qual percorre um determinado tempo. As variáveis são consideradas como elementos do sistema ligados por mapeamento matemático criado por equações diferenciais, que são resolvidos numericamente através da simulação (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016).

Villela (2005) cita alguns *softwares* (aplicativos/ ferramentas) para a simulação e aplicação da dinâmica de sistemas, são eles: *Powersim*, *ISee Systems – Stella*, *Vensim® Software*, *Forio: Web Bussines Simulations* e o *WLinkit: Ferramenta de Modelagem Computacional para Educação*. Dos softwares mencionados, o *Vensim® Software* será utilizado na pesquisa.

Para construir um modelo de dinâmica do sistema, deve-se identificar um problema e desenvolver uma hipótese dinâmica explicando a causa do problema. A simulação é executada em um modelo de dinâmica do sistema, com o deslocamento do tempo (DYSON; CHANG, 2005).

A análise de simulação mediante pelo tempo, possibilita uma série de etapas de simulação ao longo prazo para atualizar o status das variáveis do sistema de interesse, gerando resultados das atividades do sistema (DYSON; CHANG, 2005).

O programa desenvolve as consequências do conjunto de inter-relações em função do tempo, demonstrando as consequências dinâmicas entre os componentes do sistema (ARACIL, 1983).

A difusão desta técnica tem sido muito ampla e pode-se dizer que se constitui uma das ferramentas sistêmicas mais solidamente desenvolvida e com maior grau de aceitação e de implantação (ARACIL, 1995).

Segundo Villela (2005), a metodologia de dinâmica de sistemas tem sido utilizada com sucesso em áreas como: ciências sociais (administração de empresas, economia,

marketing), ciências físicas, químicas e biológicas e nas engenharias. Da mesma forma, Aracil (1995) menciona que tem se empregado a metodologia em quase todas as ciências.

Dyson e Chang (2005) relatam que a DS está direcionada para algumas áreas específicas como: sistemas de negócios, sistemas ecológicos, sistemas social-econômico, sistemas de agricultura, sistema político de tomada de decisão e sistemas ambientais.

Um estudo de dinâmica de sistemas pode se desenvolver em distintos passos, apresentados no quadro nove.

#### Quadro 9 - Passos para o estudo com dinâmica de sistemas

Passos	Características
Passo 1	Observar os modos de comportamento do sistema real para tratar de identificar os elementos fundamentais do mesmo
Passo 2	Buscar as estruturas de realimentação que podem produzir o comportamento observado
Passo 3	Construção de um modelo matemático do comportamento do sistema de forma idónea.
Passo 4	Simulação
Passo 5	A estrutura se modifica até que seus componentes e o comportamento resultante coincidam com o comportamento observado
Passo 6	Modificação das decisões que podem ser introduzidas no modelo de simulação até encontrar decisões aceitáveis e úteis, que dão lugar a um comportamento real melhorado

Fonte: Aracil (1983).

Os estoques e fluxos, ao longo dos *loops* de realimentação, são dois conceitos centrais da teoria de dinâmica de sistemas (GEORGIADIS, 2013). Outros elementos são: as flechas (sentido), as variáveis complementares e a fonte externa (ARACIL, 1995). Uma melhor definição dos elementos é apresentada no quadro 10.

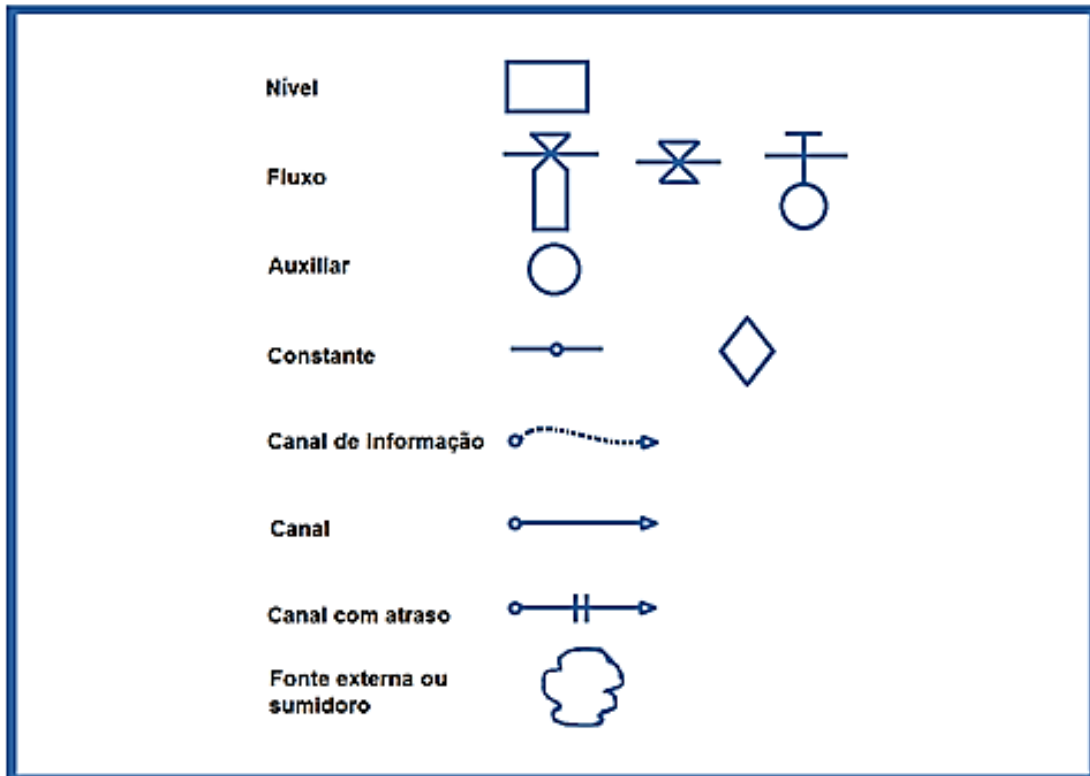
#### Quadro 10 - Os elementos básicos utilizados nos modelos de dinâmica de sistemas.

Elementos	Descrição
Variáveis (círculos)	Representam parâmetros que são usados no sistema
Variáveis constante (losango)	Variável que assume um valor que não varia
Fluxos	Representam o transporte de recursos
ESTOQUES (retângulos)	Representam acumulações/ não acumulações de algum recurso
Informação (canal)	Ligam os elementos do sistema e explicitam relações entre os mesmos. É importante observar que as informações, diferentemente dos fluxos, não retiram ou colocam recursos nos estoques. As informações também podem ter um "traço duplo", significando que as mesmas só estarão disponíveis num instante de tempo futuro e não imediatamente.
Fonte externa (nuvens)	Representa alguma fonte de recurso que está fora do escopo de interesse do modelo em estudo. Isto é, no exemplo acima, o fluxo retira recursos da fonte externa e joga no estoque. Os detalhes da fonte externa não são considerados no estudo do sistema representado pelo modelo.

Fonte: Villela (2005).

Uma demonstração gráfica de cada elemento é vista na figura dois.

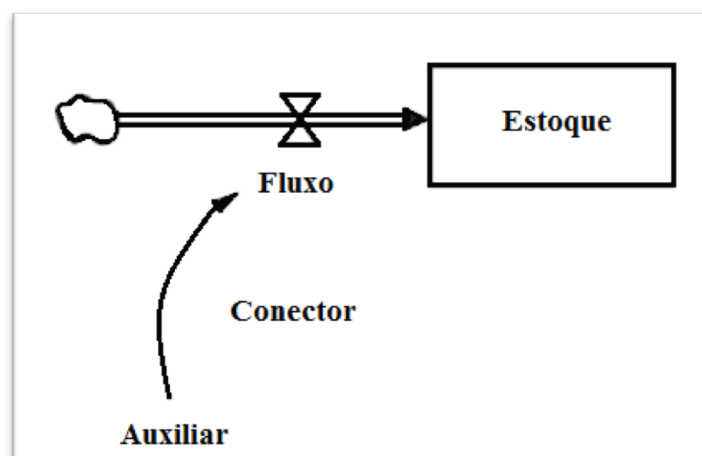
**Figura 2** - Símbolos empregados nos diagramas de Forrester



Fonte: Aracil (1995).

O conjunto das relações entre os elementos de um sistema recebe a denominação de estrutura do sistema e é representada por um diagrama de influência ou causal (ARACIL, 1995). Um exemplo de estrutura é apresentado na figura três.

**Figura 3** - Estrutura do sistema



Fonte: Simonetto e Löblerb, (2012).

Nos modelos de dinâmica de sistemas, a perspectiva de estoque e fluxo representa o tempo como se desdobra continuamente os eventos e que podem acontecer a qualquer momento mediante a mudanças (GEORGIADIS, 2013).

As flechas possuem sinais, que podem ser positivas ou negativas, fornecendo uma informação sobre a estrutura do sistema (ARACIL,1995).

O ciclo de realimentação negativa determina o caráter e a influência negativa no sistema, ou seja, tende a anular uma perturbação inicial influenciada por um incremento positivo, gerando uma diminuição. Desta forma, os ciclos negativos são ciclos estabilizadores (ARACIL,1995).

Um ciclo de realimentação positiva possui todas as suas influências positivas, gerando um crescimento indefinido (bola de neve/ círculo vicioso). Portanto, trata-se de uma realimentação que amplifica as perturbações e que instabiliza o sistema (ARACIL,1995).

Além dos ciclos de realimentação, há os atrasos que são influências produzidas de forma mais ou menos instantânea, que tardam um certo tempo para manifestar-se e são representados por dois traços sobre a flecha, oscilando o comportamento do sistema (ARACIL,1995).

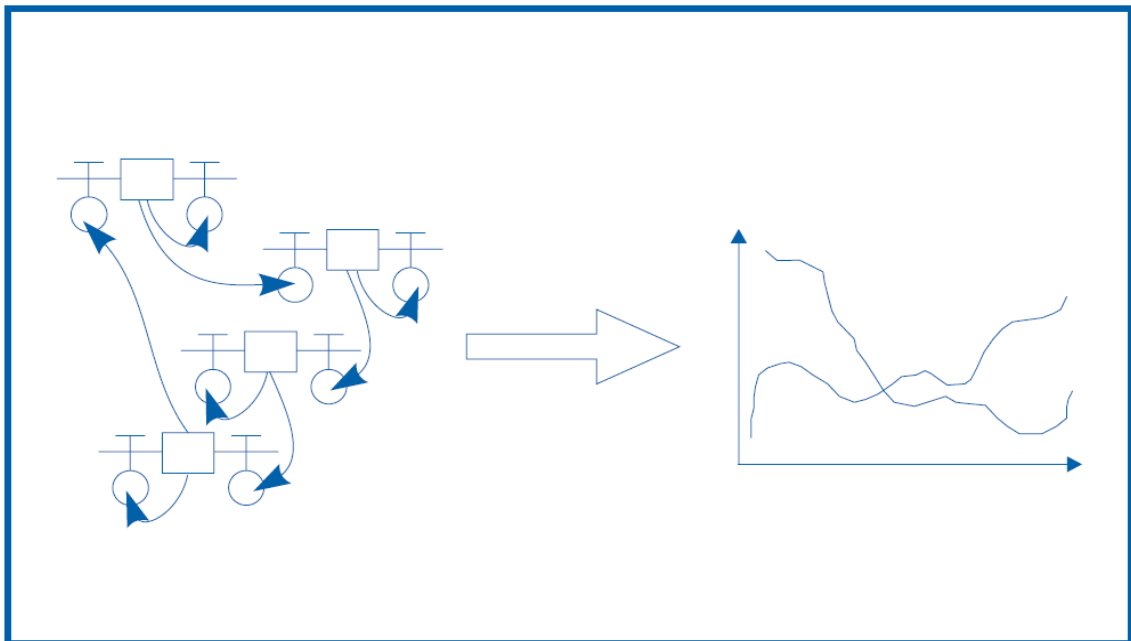
Desta forma, os sistemas complexos são compostos por uma gama de ciclos de retroalimentação positiva e negativa, possuindo vários processos, que influenciaram todo o sistema, é nesta perspectiva que a gestão de resíduos sólidos urbanos se enquadra.

Para descrever apropriadamente o comportamento de um sistema de forma clara e abrangente, emprega-se o diagrama de ciclo causal ou de influência, que é uma ferramenta gráfica que permite aos modeladores generalizar os dados relacionados ao fenômeno sob investigação (FAN *et al.*, 2018).

Um modelo pode apresentar o impacto e as consequências de relações causais não reconhecidas, atrasos estruturais e a complexidade dinâmica que poderiam levar a resultados menos intuitivos e informados para melhorar a situação (FAN *et al.*, 2018).

Com a construção da estrutura de um modelo é possível analisar por simulação, ou seja, através de programas computacionais, as ações geradas em função do tempo. Mudanças nas variáveis podem ser sentidas e transformadas em gráficos comparativos, como visto na figura 4, assim antecipando consequências futuras.

**Figura 4 - Comportamento gerado a partir o modelo estruturado**



Fonte: Aracil (1995).

A ação de simular e conseqüentemente modelar a realidade é discutida no próximo subcapítulo.

### 2.3.2 Modelagem

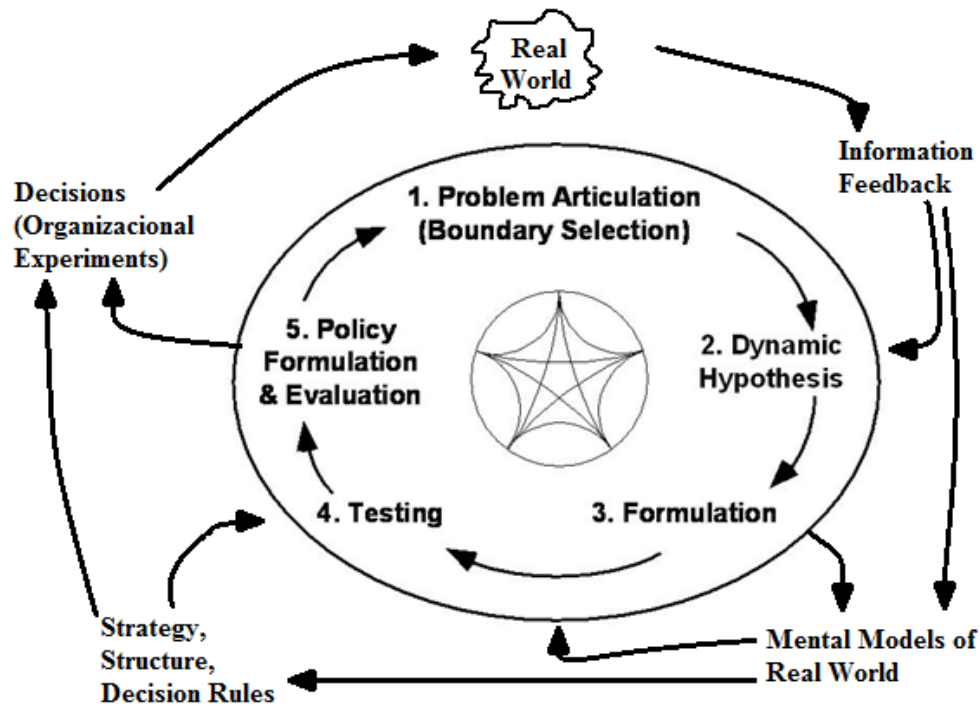
Modelagem ocorre em um contexto para a resolução de problemas do mundo real, caracterizado por sua confusão, ambigüidade, política, pressão de tempo e conflito interpessoal (STERMAN, 2000).

Conceituar a modelagem como uma aplicação de matemática em outras áreas do conhecimento, para Barbosa (2004), é uma limitação teórica. Segundo o autor, a modelagem é um grande ‘guarda-chuva’, atendendo quase tudo.

Desta forma a modelagem contribui para intervenção das pessoas nos debates e nas tomadas de decisões, possibilitando a construção e solidificação de sociedades democráticas (BARBOSA, 2004).

A modelagem, faz parte do processo de aprendizagem, composta por um processo contínuo de formulação de hipóteses, revisões e testes, tanto de modelos mentais como formais. Experimentos conduzidos no mundo virtual contribuem para o projeto e a execução de experimentos no mundo real, assim as experiências reais levam a mudanças e melhorias no mundo virtual e nos modelos imaginados dos participantes (STERMAN, 2000). Podendo ser simplificado através da figura cinco.

Figura 5 - Processo de Modelagem



Fonte: Sterman (2000).

Sterman (2000) apresenta cinco passos para o processo de modelagem, descritos no quadro 11.

**Quadro 11 - Passos para o processo de modelagem**

Passo	Nome	Questionamentos/ Ação
1	Articulação de Problemas (Seleção de Limites)	<b>Seleção de tema:</b> Qual é o problema? Por que isso é um problema? <b>Principais variáveis:</b> Quais são as principais variáveis e conceitos? <b>Horizonte de tempo:</b> Até que ponto no futuro devemos considerar? Quão longe no passado estão as raízes do problema? <b>Definição dinâmica de problemas (modos de referência):</b> Qual é o comportamento dos conceitos-chave e das variáveis? Como será o seu comportamento no futuro?
2	Formulação de Hipóteses Dinâmicas	<b>Geração de hipóteses iniciais:</b> Quais são as teorias atuais do comportamento problemático? <b>Foco endógeno:</b> Formular uma hipótese dinâmica que explique a dinâmica como consequências endógenas da estrutura de feedback. <b>Mapeamento:</b> Desenvolver mapas de estrutura causal com base em hipóteses iniciais, variáveis-chave, modos de referência e outros dados disponíveis, usando ferramentas como: Diagramas de contorno do modelo; Diagramas do subsistema; Diagramas do circuito causal; Mapas de estoque e de fluxo; Diagramas de estrutura de políticas; Outros instrumentos de facilitação.
3	Formulação de um modelo de simulação	Especificação da estrutura, regras de decisão. Estimativa de parâmetros, relações comportamentais e condições iniciais. Testar a consistência com um propósito e um limite.

Continua

Conclusão		
Passo	Nome	Questionamentos/ Ação
4	Teste	<p>Comparação com os modos de referência: O modelo reproduz o comportamento do problema adequadamente para o seu propósito?</p> <p>Robustez sob condições extremas: O modelo se comporta realisticamente quando forçado por condições extremas?</p> <p>Sensibilidade: Como se comporta o modelo a incerteza de parâmetros, condições iniciais, limite do modelo e agregação?</p>
5	Planejamento e Avaliação de Políticas	<p>Especificação do cenário: Que condições ambientais podem surgir?</p> <p>Projeto de política: quais novas regras de decisão, estratégias e estruturas podem ser julgadas no mundo real? Como eles podem ser representados no modelo?</p> <p>"E se. . ."Análise: Quais são os efeitos das políticas? Análise de sensibilidade: Quão robustas são as recomendações de políticas sob diferentes cenários e incertezas dadas? Interações de políticas: As políticas interagem? Existem sinergias ou respostas compensatórias?</p>

Fonte: Sterman (2000).

Em sistemas complexos, causa e efeito estão distantes no tempo e no espaço. A principal deficiência dos modelos desenvolvidos de forma mental é a tendência de pensar em causa e efeito como local e imediato (STERMAN, 2000).

A modelagem aplicada na DS procura caracterizar o problema dinamicamente, ou seja, como um padrão de comportamento, se desdobra ao longo do tempo, demonstrando como o problema surgiu e como ele pode evoluir no futuro (STERMAN, 2000).

Para tanto, é necessário desenvolver um modo de referência, um conjunto de gráficos e outros dados descritivos que mostrem o desenvolvimento do problema ao longo do tempo (STERMAN, 2000).

No próximo subcapítulo serão apresentados alguns trabalhos que utilizaram a dinâmica de sistemas e a modelagem para antever problemas e propor soluções.

### 2.3.3 Publicações e aplicações desenvolvidas a partir da dinâmica de sistemas

O presente subcapítulo apresenta algumas publicações e aplicações para a familiarização com o tema e conseqüentemente com a pesquisa.

O livro seminal para a área de dinâmica de sistemas foi o *Industrial Dynamics*, lançado em 1961, outro importante livro para área foi o *Urban Dynamics*, ambos publicados por Jay Forrester.

O livro *Urban Dynamics* aborda a simulação com o intuito de prever o impacto das soluções propostas para o ciclo de vida de uma cidade, trabalhando com as forças que controlam o equilíbrio da população, habitação e indústria em um ambiente urbano (FORRESTER, 1961).

De acordo com Simonetto e Löblerb (2012), este trabalho serviu de base para elaboração de um outro livro: “*The Limits to Growth*” de Donella Meadows, Dennis Meadows, Jørgen Randers e William Behrens III, lançado em 1972. O qual foi apresentado ao Clube de Roma no início da década de 1970 (SIMONETTO, LÖBLERB, 2012).

Estas obras popularizaram a dinâmica de sistemas e os livros de Forrester tornaram-se a base de diversas pesquisas, influenciando muitos governos na hora de tomar decisões em política urbana (SIMONETTO; LÖBLERB, 2012).

Outro livro de destaque é lançado em 1993, mas voltado para a área de administração e de negócios é o “A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende” de Peter Senge.

Além dos livros, há diversas outras pesquisas que utilizaram a dinâmica de sistemas. Villela (2005) apresenta uma série de pesquisas realizadas no Brasil, em sua grande maioria aplicadas a área de pecuária e agricultura, ou seja, ao agronegócio.

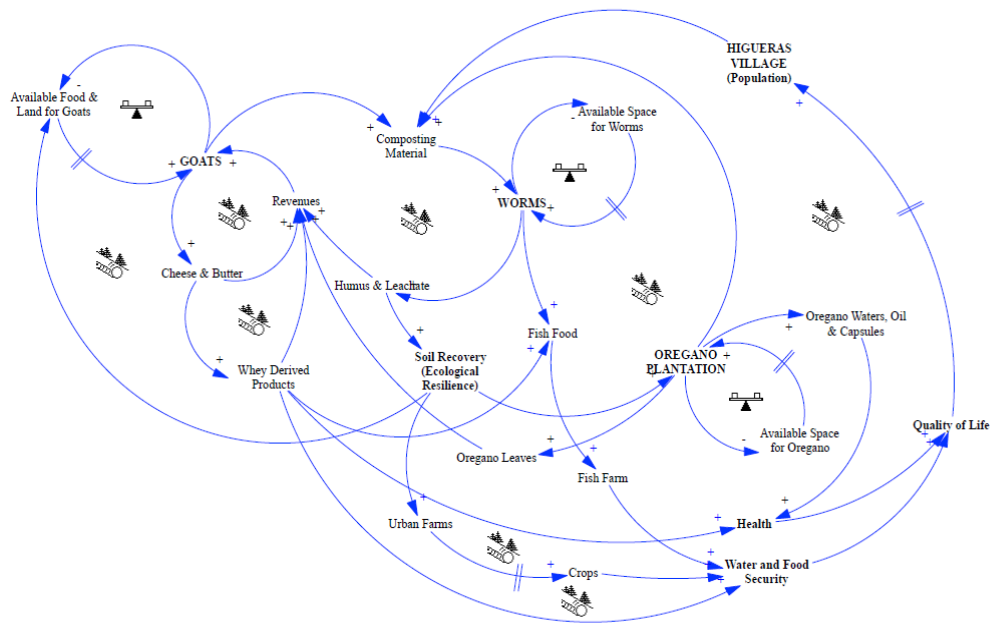
A dinâmica de sistemas possui anualmente desde 1993, um congresso sobre a área e que conta com um repositório com os trabalhos apresentados nos eventos. A partir deste repositório foi extraído um trabalho para exemplificar melhor a ferramenta e o tema.

O estudo selecionado foi: “*Developing a Regional Circular Value Ecosystem Based on Residues and Wastes: The Case of Higuera Village, Mexico*”. O objetivo do trabalho foi visualizar o futuro da cidade de Higuera a médio prazo, aplicando e desenvolvendo uma economia circular dentro da cadeia produtiva da localidade (AGUIÑAGA; SCHEEL, 2015).

Desta forma os autores queriam ver as consequências futuras para a região a partir do desenvolvimento da economia circular regional. Para tanto, identificaram as cadeias produtivas da região, afim de integrá-las a um sistema, onde os resíduos de suas produções, bem como seus produtos pudessem estar circulando.

Após as pesquisas de campo, bibliográficas e documentais, eles partiram para a utilização dos preceitos da dinâmica de sistemas e chegaram ao seguinte modelo causal:



**Figura 6 - Estrutura de modelo causal**

Fonte: Aguiñaga e Scheel (2015).

Desta forma, os autores relacionam as principais atividades econômicas da região, a plantação de orégano e criação de cabras com o futuro de outras variáveis importantes como a saúde dos habitantes, a água, recuperação do solo e a segurança alimentar.

A partir da simulação para dez anos os pesquisadores chegaram as seguintes consequências para saúde dos habitantes, a água, recuperação do solo e a segurança alimentar apresentados no quadro 12.

**Quadro 12 - Cenários futuros esperados**

Variável	Consequências
Uso da água	Uso eficiente da água e sua recuperação adequada salvou a aldeia, melhorando disponibilidade de água
Saúde	Melhora da saúde, a ingestão de orégano fortalece o sistema imunológico
Recuperação de solo superficial	Mais de 660 hectares foram fertilizados usando apenas lixiviados dos vermes, ajudando a recuperação de solos anteriormente pobres. Húmus sólido utilizado na construção de hortas urbanas, forneceram quase um adicional de 1,5 hectares de terra recuperada adequadas para o cultivo de hortaliças
Segurança alimentar	Com a recuperação do solo superficial, jardins urbanos fornecem vegetais para satisfazer completamente os requisitos de 75 famílias, consequentemente, reforçando a auto sustentabilidade

Fonte: Aguiñaga e Scheel (2015).

Para a análise e solução de problemas as variáveis sofrem alterações e seu comportamento futuro é comparado e observado.

Entre as conclusões apresentadas pelos autores estão: a capacidade da cidade de superar a produção de resíduos, por interligação sistemática das partes interessadas,

tecnologias apropriadas, processos inovadores e a criação de nutrientes valiosos para outros processos, bem como produtos para a região.

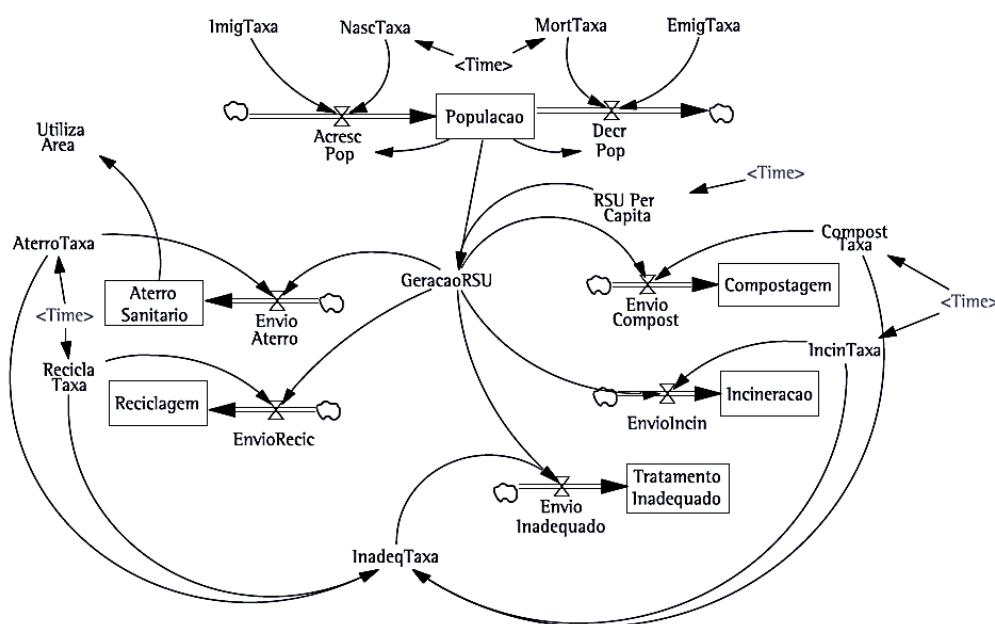
Além disso, os resultados das simulações mostram uma clara melhoria de quatro parâmetros: a capacidade de alcançar a segurança alimentar, a criação de um solo rico, melhoria da saúde e do uso da água.

O outro exemplo apresentado é o trabalho elaborado por Simonetto e Löblerb (2012), o qual apresenta o desenvolvimento, validação e experimentação de um modelo de simulação utilizando a metodologia de dinâmica de sistemas, com o objetivo de avaliar e analisar cenários acerca da geração e disposição final dos resíduos sólidos urbanos.

A metodologia de pesquisa adotado para o desenvolvimento de um modelo computacional foi baseada nas seguintes etapas: (1) estudos exploratórios em artigos científicos, manuais de referência e entrevistas com gestores da área de resíduos sólidos, nas quais o problema foi caracterizado e estruturado; (2) desenvolvimento da solução, pela construção de modelos formais capazes de representar o problema; (3) implementação computacional da solução, utilizando-se o simulador *Vensim® Software*; (4) validação da solução, através de testes em laboratório e em campo, para verificar se os resultados obtidos estão de acordo com a realidade observada, bem como através da simulação de um experimento para tal, utilizando-se três cenários.

As variáveis e as suas inter-relações são apresentadas na figura 7.

**Figura 7 - Modelo de simulação desenvolvido**

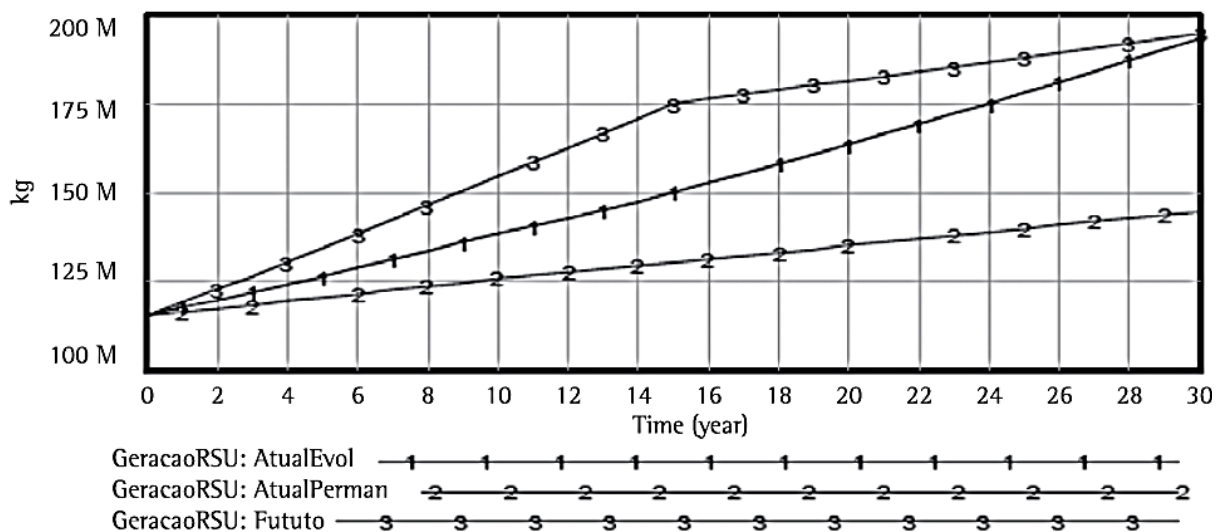


Fonte: Simonetto e Löblerb (2012).

Com a simulação realizada com o auxílio de um software foram construídos três cenários. O primeiro cenário foi baseado pela variação atual das taxas. O segundo não apresenta variação de taxas e o terceiro cenário é baseada em um ideal futuro.

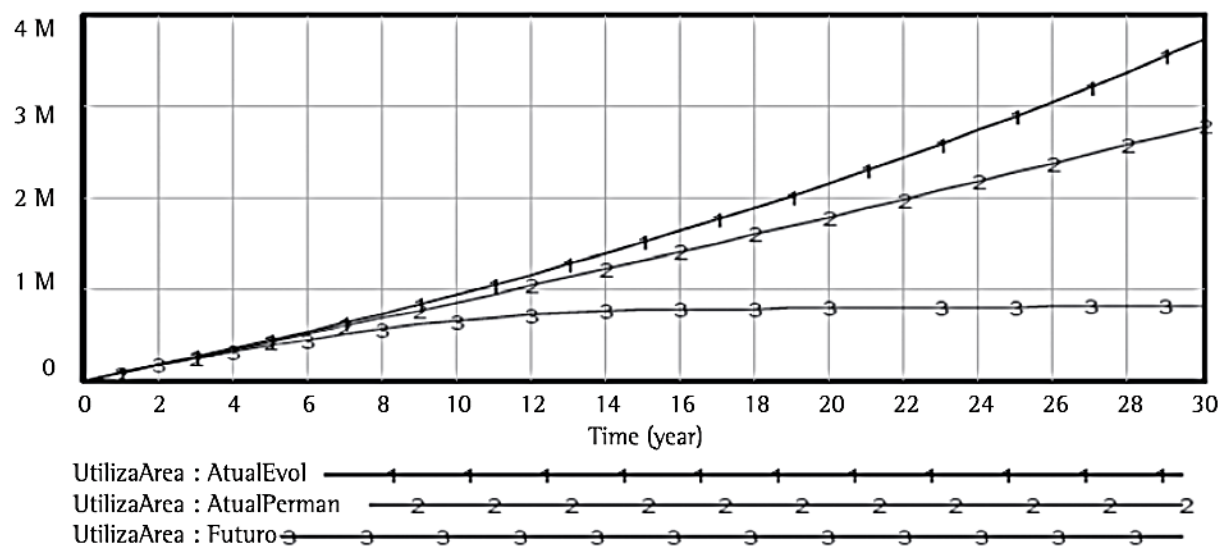
A partir destes três cenários, os autores geraram os gráficos 1 e 2 que comparam e relacionam a geração de resíduos sólidos urbanos e a área utilizada.

**Gráfico 1- Relação da geração de resíduos sólidos urbanos entre os cenários**



Fonte: Simonetto e Löblerb (2012).

**Gráfico 2- Relação da área utilizada entre os cenários**



Fonte: Simonetto e Löblerb (2012).

Os autores concluem que o cenário denominado ideal foi superior aos outros dois em quase todos os aspectos, porém na variável referente à estimativa de quantidade de resíduos gerada pela população, o cenário atual sem variação de taxas (taxas estáticas) foi melhor.

De forma geral, os trabalhos apresentam modelos para simulação, os quais serviram de base para a criação de cenários futuros. O segundo modelo apresenta também gráficos que se alteram com o passar do tempo e que possibilitam a comparação entre diversos cenários.

A pesquisa buscou apresentar um modelo com as principais variáveis e a simulação destes com a geração de gráficos que facilitem a comparação de diversos futuros, assim possibilitando alternativas. Desta forma, ele pode auxiliar a tomada de decisão na gestão de resíduos sólidos urbanos e propondo novas políticas públicas.

## **2.4 Considerações teóricas**

As políticas públicas que servem a democracia necessitam angariar apoio, estimular o engajamento cívico e incentivar a cooperação na solução de problemas. A dificuldade é alcançar as metas sem apoio suficiente, além de grupos de interesse, agências, interesses do legislativo, parcerias público- privado (INGRAM; SCHNEIDER, 2006).

Ela possibilita alternativas de escolhas, compreensão no processo de construção, participação, avaliação e influência na decisão. Está relacionada a interesse de grupos, logo a importância do envolvimento, participação, audiências públicas e reuniões, por parte dos cidadãos, os quais podem influenciar sobre as decisões a serem tomadas (KRAFT; FURLONG, 2010).

Uma democracia requer a abertura de fóruns públicos os quais os cidadãos podem e devem confrontar os problemas políticos que os afetam diretamente. Conforme o caminho do tema é emoldurado a partir de diferentes fronteiras de interesse ou jurisdição (INGRAM; SCHNEIDER, 2006).

Em resumo, respondendo à necessidade de políticas públicas e a participação da sociedade é apresentado o quadro 13 com as participações efetivas e eficazes da sociedade civil, que precisam ser devidamente acompanhados e aplicados.

Essencial para uma efetiva mudança na realidade e que vai ao encontro dos problemas relacionados com a falta de políticas e de gestão de resíduos sólidos urbanos.

**Quadro 13 - Participação efetiva e eficaz da sociedade dentro da elaboração de políticas**

<b>Ação</b>	<b>Descrição</b>
Elaboração e formulação	Elaboração e formulação de um diagnóstico participativo e estratégico com os principais atores envolvidos, no qual se possa identificar os obstáculos ao desenvolvimento, fatores restritivos, oportunidades e potencialidades; negociação entre os diferentes atores
Identificação	Identificação de experiências bem-sucedidas nos vários campos, sua sistematização e análise de custos e resultados, tendo em vista possibilidades de ampliação de escalas e criação de novas alternativas
Debate	Debate público e mobilização da sociedade civil em torno dos problemas e das alternativas conjuntamente com os demais atores
Decisão	Decisão e definição em torno de alternativas; competências das diversas esferas públicas envolvidas, dos recursos e estratégias de implementação, cronogramas, parâmetros de avaliação
Detalhamento	Detalhamento de modelos e projetos, diretrizes e estratégias; identificação das fontes de recursos; orçamento; prazos; mobilização dos meios disponíveis e a providenciar; mapeamento de possíveis parcerias, para a implementação
Execução	Na execução, publicitação, mobilização e definição de papéis dos atores, suas responsabilidades e atribuições, acionamento dos instrumentos e meios de articulação
Indicadores	Informações, dados, transparência, acessibilidade
Avaliação	Na avaliação, acompanhamento do processo e resultados conforme indicadores; redefinição das ações e projetos; ouvidoria; antes e depois; pesquisa de satisfação;

Fonte: Adaptado de Martino e Jannuzzi (2002); Teixeira (2002).

A pesquisa apresentou uma definição de tecnologia e seu desdobramento em tecnologia social, afim de direcionar o desenvolvimento de pesquisas e conhecimento para atender as demandas da sociedade.

Destaca também a importância da relação de políticas públicas com a questão tecnológica e seus desdobramentos e a importância das universidades com a aplicação e desenvolvimento de Tecnologia Social. Elementos que cotidianamente podem passar despercebidos, mas que devem ser trabalhados com muita atenção.

A manutenção da atual academia, associada ao uso de tecnologias dominantes e a pesquisas pré-estabelecidas não poderão dar suporte às tecnologias alternativas e reprimidas, bem como o desenvolvimento de Tecnologias Sociais, essenciais para a ampliação e solidificação dos trabalhos realizados de forma que conciliem a mudança da realidade em prol da sociedade.

Assim tanto as políticas públicas como o campo CTS demandam da participação da sociedade, afim de transformar a realidade local de forma democrática, proporcionando a solução dos problemas. No caso da cadeia de resíduos sólidos urbanos, a apropriação dos conhecimentos dos catadores de materiais recicláveis, também autodenominados como agentes ambientais, somados a pesquisas e desenvolvimentos, podem levar a novas formas de processamento e transformação de materiais. Além de melhoras na logística, na saúde e nas condições e ambientes de trabalho.

A sociedade pode contribuir com a gestão dos resíduos de várias maneiras, não apenas segregando e reduzindo, mas desenvolvendo formas alternativas de tratamento, como é o caso de composteiras artesanais ou outros processos de compostagem doméstica e descentralizada.

Logo a importância da dinâmica de sistemas como metodologia e ferramenta, que consegue agrupar diferentes tecnologias, ciências, pesquisas, pessoas e relacionar com a cadeia de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos, descrita no próximo capítulo.

### 3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Esse capítulo aborda questões relacionadas aos resíduos sólidos de forma geral, suas definições, classificações, características e o estado da arte.

#### 3.1 Definição, classificação e características

Segundo Tchobanoglous, Kreith e Williams (2002), as atividades da sociedade geram resíduos que são descartados porque são considerados inúteis.

Justificado porque o verbete popularmente denominado de “lixo” significa para muitos a definição encontrada no dicionário, ou seja, objeto sem valor, utilidade e importância, ou resto de trabalhos industriais, domésticos entre outros que se descarta (HOUAISS; VILLAR, 2010).

Porém, este termo está sendo substituído por resíduos, devido à relatividade da característica inservível do lixo, pois aquilo que já não apresenta nenhuma utilidade para quem o descarta, pode se tornar matéria-prima para um novo produto ou processo (MONTEIRO *et al.*, 2001).

A norma NBR 10.004, define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p. 1).

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei Federal nº. 12.305, instituída em 2010 (BRASIL, 2010a), o resíduo sólido significa material, substância, objeto ou bem descartado resultante das atividades humanas, cuja destinação final se procede nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

Segundo Monteiro *et al.* (2001) existem várias formas de se classificar os resíduos sólidos. Uma delas é conforme sua periculosidade (Quadro 14), caracterizada pelas suas

propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, apresentando riscos à saúde pública e ao ambiente (ABNT, 2004).

#### Quadro 14 - Classificação dos resíduos sólidos segundo sua periculosidade

Classificação	Definição
Classe I - Perigosos	São aqueles que, em função de suas características como de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos negativos ao meio ambiente.
Classe IIA – Não perigosos – Não inertes	Podem possuir propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe IIB – Não perigosos - Inertes	Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007 (ASSOCIAÇÃO... 2004d), e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006 (ASSOCIAÇÃO... 2004c), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Fonte: ABNT (2004).

Outra forma de classificar os resíduos sólidos é em função da sua origem. Tchobanoglous, Kreith e Williams (2002) mencionam oito categorias: residencial, comercial, institucional, demolição e construção, serviços municipais, áreas de tratamento de plantas, industrial e de agricultura.

Já a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a) apresenta onze origens para os resíduos, apresentados no quadro 15.

#### Quadro 15 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem

Classificação	Origem
Resíduos domiciliares	Atividades domésticas em residências urbanas.
Resíduos de limpeza urbana	Varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana.
Resíduos sólidos urbanos	Englobam os resíduos domiciliares e de limpeza pública.
Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Gerados pela limpeza urbana, serviços públicos de saneamento básico, serviços de saúde, construção civil e agrossilvopastoris.
Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Resíduos domiciliares e de limpeza pública.
Resíduos industriais	Gerados nos processos produtivos e instalações industriais.
Resíduos de serviços de saúde	Gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS.
Resíduos da construção civil	Gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.
Resíduos agrossilvopastoris	Gerados nas atividades agropecuárias e silviculturas, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades.
Resíduos de serviços de transportes	Originados de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira.
Resíduos de mineração	Gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

Fonte: Brasil (2010a).



Monteiro *et al.* (2001) apresentam outras características dos resíduos que influenciam o sistema de limpeza urbana (Quadro 16).

**Quadro 16** - Características dos resíduos sólidos que influenciam no planejamento de limpeza urbana

<b>Característica</b>	<b>Importância</b>
Geração per capita	Fundamental para se poder projetar as quantidades de resíduos a coletar e a dispor. Importante no dimensionamento de veículos. Elemento básico para a determinação da taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana.
Composição gravimétrica	Indica a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis para comercialização e da matéria orgânica para a produção de composto orgânico. Quando realizada por regiões da cidade, ajuda a calcular com maior precisão a tarifa de coleta e destinação final.
Peso específico aparente	Fundamental para o correto dimensionamento da frota de coleta, assim como de contêineres e caçambas estacionárias.
Teor de umidade	Tem influência direta sobre a velocidade de decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem, sobre o poder calorífico e o peso específico aparente do lixo, concorrendo de forma indireta para o correto dimensionamento de incineradores e usinas de compostagem. Influencia diretamente o cálculo da produção de chorume e o correto dimensionamento do sistema de coleta de percolados.
Compressividade	Muito importante para o dimensionamento de veículos coletores, estações de transferência com compactação e caçambas compactadoras estacionárias.
Poder calorífico	Influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos de tratamento térmico (incineração, pirólise e outros).
pH	Indica o grau de corrosividade dos resíduos coletados, servindo para estabelecer o tipo de proteção contra a corrosão a ser usado em veículos, equipamentos, contêineres e caçambas metálicas.
Composição química	Ajuda a indicar a forma mais adequada de tratamento para os resíduos coletados.
Relação C:N (carbono: nitrogênio)	Fundamental para se estabelecer a qualidade do composto produzido.
Características Biológicas	Fundamentais na fabricação de inibidores de cheiro e de aceleradores e retardadores da decomposição da matéria orgânica presente no lixo.

Fonte: Monteiro *et al.* (2001).

### 3.2 Aspectos legais

O presente subcapítulo apresenta alguns marcos legais na área de resíduos sólidos urbanos, em especial as legislações mais recentes e relevantes.

Segundo a Constituição Federal, promulgada em 1988, “compete à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas”. Cabe ao poder público municipal “legislar sobre os assuntos de interesse local e suplementar a legislação federal e a estadual no que couber” (BRASIL, 1988).

De acordo com a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco - FADE (2012) atualmente o tripé legal em que se assenta a análise dos resíduos

sólidos são: a Lei Federal nº. 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), a Lei Federal nº. 11.107/2005, referente aos Consórcios Públicos (BRASIL, 2005) e a Lei Federal nº. 11.445/ 2007, que institui a Política Nacional de Saneamento (BRASIL, 2007a).

A Política Nacional de Consórcios Públicos apresenta as normas gerais para a União, para os Estados, para o Distrito Federal e para os Municípios contratarem consórcios públicos realizarem objetivos de interesse comum. Entre as disposições gerais estão: a celebração de contrato, protocolo de intenções, contrato de rateio, controle e responsabilidades, extinção do consórcio, gestão associada de serviços públicos e o contrato de programa (BRASIL, 2005). Sua regulamentação se dá pelo Decreto nº. 6.017 (de 17 de janeiro de 2007) em que são estabelecidas as normas de implantação e execução da Lei (BRASIL, 2007b).

A Política Nacional de Saneamento Básico apresenta as diretrizes e políticas nacionais para o saneamento básico (BRASIL, 2007a). Sua regulamentação é realizada pelo Decreto nº. 7.217 (21 de junho de 2010), que estabelece normas para a execução da Lei. Especificamente com relação aos resíduos, considera o saneamento básico como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas (BRASIL, 2010b).

Os princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico são apresentados no quadro 17:

#### **Quadro 17 - Princípios fundamentais da Política Nacional de Saneamento Básico**

<b>Princípios fundamentais</b>
Universalização ao acesso
Integralidade dos diversos serviços de saneamento básico
Ações de saneamento realizadas de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente
Disponibilidade de serviços em toda área urbana
Adoção de técnicas, métodos e processos que considerem as peculiaridades regionais e locais
Articulação com as políticas de desenvolvimento regional e urbano (de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras relevantes para vida da sociedade)
Eficiência e sustentabilidade econômica
Utilização de tecnologias apropriadas
Transparência das ações
Controle social (garantir a informação à sociedade bem como sua participação)
Segurança, qualidade e regularidade

Fonte: Brasil (2007a).

Esta Lei (nº. 11.445/ 2007) considera que os resíduos originados pelas atividades comerciais, industriais e de serviços (como por exemplo os gerados nos processos produtivos e instalações industriais, os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas),

cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano (BRASIL, 2007a). Para os efeitos desta Lei, o serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos é composto pelas seguintes atividades (quadro 18):

**Quadro 18** - Atividades do serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos

Atividades			
Coleta	Transporte	Transbordo	Disposição final
Triagem, reciclagem, compostagem e reuso		Outros serviços de limpeza	
Varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos			

Fonte: Brasil (2007a).

Para a gestão eficaz dos serviços de saneamentos, a Lei apresenta que é necessário contar com o planejamento, a regulação, a fiscalização, a prestação dos serviços, a participação e o controle social como parte integrante desse processo (BRASIL, 2007a).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos dispõe sobre os objetivos, princípios, instrumentos e diretrizes relativas ao gerenciamento de resíduos sólidos e a gestão integrada, prevendo soluções integradas para a coleta seletiva, recuperação, reciclagem, tratamento e a destinação final. Traz também as responsabilidades dos geradores e do poder público, além dos instrumentos econômicos aplicáveis, definições de atividades relacionadas ao tema, planos nos níveis nacional, estadual e municipal para os resíduos sólidos, e suas proibições (BRASIL, 2010a). Esta lei é regulamentada pelo Decreto nº. 7.404 de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010c).

Dentre seus principais princípios estão (quadro 19):

**Quadro 19** - Princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos

Princípios
Prevenção e a precaução
Desenvolvimento sustentável
Visão sistêmica (considerando as variáveis: ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública)
Cooperação entre as diferentes esferas do poder público
Responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos
Reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável
Direito da sociedade à informação e ao controle social

Fonte: Brasil (2010a).

Os principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos são apresentados no quadro 20.

**Quadro 20 - Objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**

Objetivos			
Proteger a saúde pública e a qualidade ambiental		Tratar os resíduos sólidos	
Não gerar resíduo	Reduzir	Reutilizar	Reciclar
Disponibilizar o resíduo final de forma ambientalmente adequada			
Desenvolver e aprimorar tecnologias limpas como forma de minimizar os impactos ambientais			
Gerenciar de forma integrada os resíduos sólidos			
Capacitar a técnica continuada na área de resíduos sólidos			

Fonte: Brasil (2010a).

A Lei também conta com a adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que possam garantir a sustentabilidade operacional e financeira, além da integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e o estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010a).

Como instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, observe-se o destaque para (quadro 21):

**Quadro 21 - Principais instrumentos da Política Nacional de Resíduos Sólidos**

Instrumentos	
Planos de resíduos sólidos	Coleta seletiva
Sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos	
Incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis	
Monitoramento e a fiscalização ambiental, sanitária e agropecuária	
Cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada	
Educação ambiental entre outros	

Fonte: Brasil (2010a).

É de incumbência do Distrito Federal e dos Municípios a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados, observando a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010a).

### 3.3 Resíduos sólidos urbanos no Brasil

Os resíduos sólidos urbanos têm sido considerados como um dos problemas mais imediatos e severos que os governos da maioria dos países em desenvolvimento e de economias em transição enfrentam (SUKHOLTHAMAN; SHARP, 2016). A gestão de

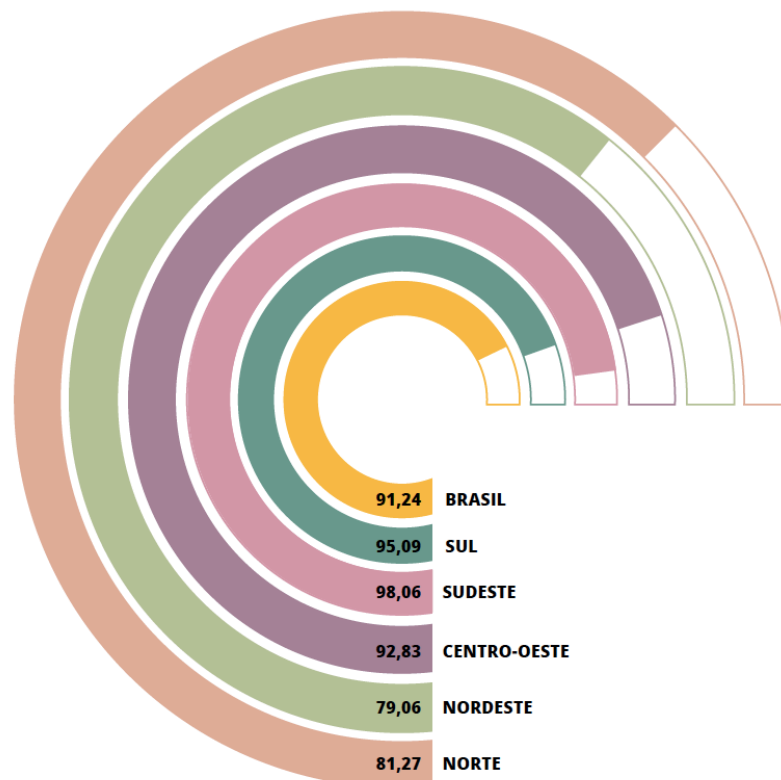
resíduos tornou-se um dos problemas mais significativos na atualidade, porque o atual padrão de vida produz enormes quantidades de resíduos e a maioria das pessoas querem preservar o seu estilo de vida (TCHOBANOGLOUS; KREITH; WILLIAMS, 2002).

A geração dos resíduos sólidos urbanos está relacionada ao padrão de vida da sociedade (SU *et al.*, 2008). Desta forma, o tratamento e eliminação de resíduos sólidos é muitas vezes considerado como um problema para a sociedade e um considerável debate está em curso sobre os melhores métodos para resolvê-los (BARDI *et al.*, 2014).

A GRSU no Brasil é caracterizada por ser um grande desafio, devido às consequências negativas geradas por um gerenciamento inadequado, tem sido amplamente discutida na sociedade, envolvendo temas como o saneamento básico, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos materiais, meio ambiente e aproveitamento energético, buscando soluções para a destinação final dos resíduos (JUCÁ, 2003).

A geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil registrou um crescimento de 1% de 2016 para 2017, ou seja, passou de 212.753 toneladas para 214.868 toneladas de resíduos por ano (ABRELPE, 2017). O que significa que cada brasileiro gerou mais de um quilo de resíduos por dia e em 2017 (ABRELPE, 2017). O gráfico três apresenta o índice de cobertura de resíduos sólidos urbanos nas regiões brasileiras no ano de 2016.

**Gráfico 3** - Índice de cobertura da coleta de RSU nas regiões brasileiras em 2016



Fonte: Abrelpe (2017).

A quantidade de RSU coletados por dia nas regiões brasileiras e sua distribuição para o ano de 2017 está demonstrado no quadro 22.

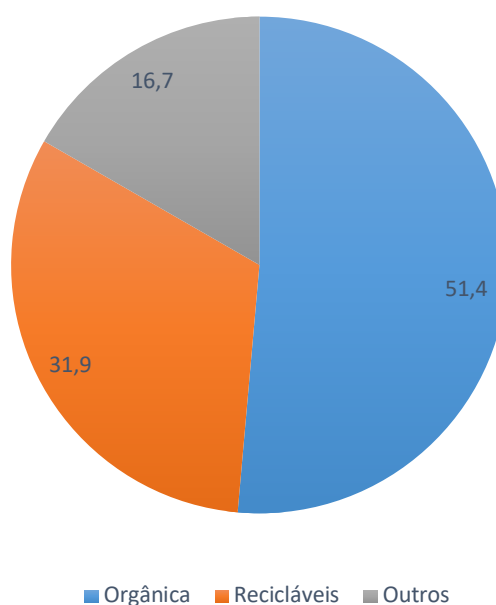
**Quadro 22** - Quantidade de RSU Coletado por Regiões e sua representatividade no Brasil em 2017

Região	Quantidade RSU coletado (t/dia)	Porcentagem
Norte	12.705	6,48
Nordeste	43.871	22,38
Centro-Oeste	14.406	7,35
Sudeste	103.741	52,91
Sul	21.327	10,88
Brasil	196.050	100

Fonte: ABRELPE (2017).

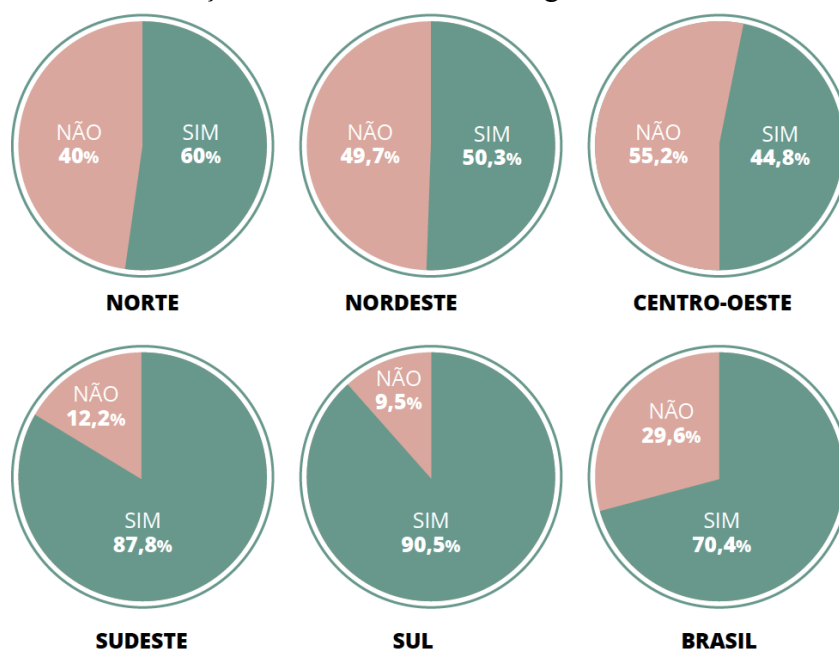
De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010), a maior porcentagem (51,4%) dos resíduos gerados nos municípios cidades brasileiros é constituído por resíduos orgânicos. No gráfico quatro é apresentado a composição gravimétrica dos resíduos sólidos brasileiros.

**Gráfico 4** – Composição dos RSUs coletados por regiões no Brasil em 2012



Fonte: Brasil (2012).

Com relação a coleta seletiva no Brasil, em 2016, mais de 70% dos municípios registraram alguma ação neste sentido (ABRELPE, 2017). O gráfico cinco apresenta a distribuição da coleta seletiva por regiões no Brasil.

**Gráfico 5 – Presença da coleta seletiva nas regiões brasileiras em 2017**

Fonte: ABRELPE (2017).

Nota-se que a coleta seletiva não atinge cem por cento nenhuma região brasileira. As regiões que apresentam os melhores indicadores são a região sul e a sudeste. O que chama a atenção por necessidade de intervenção são as regiões norte, nordeste e principalmente a centro-oeste.

Com relação a destinação final dos resíduos sólidos urbanos, o Brasil em 2014 apresentou um índice de destinação final adequada de 59,1%, o que significa que 29.290.885 toneladas de RSU foram destinados a locais inadequados, ou seja, lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2017).

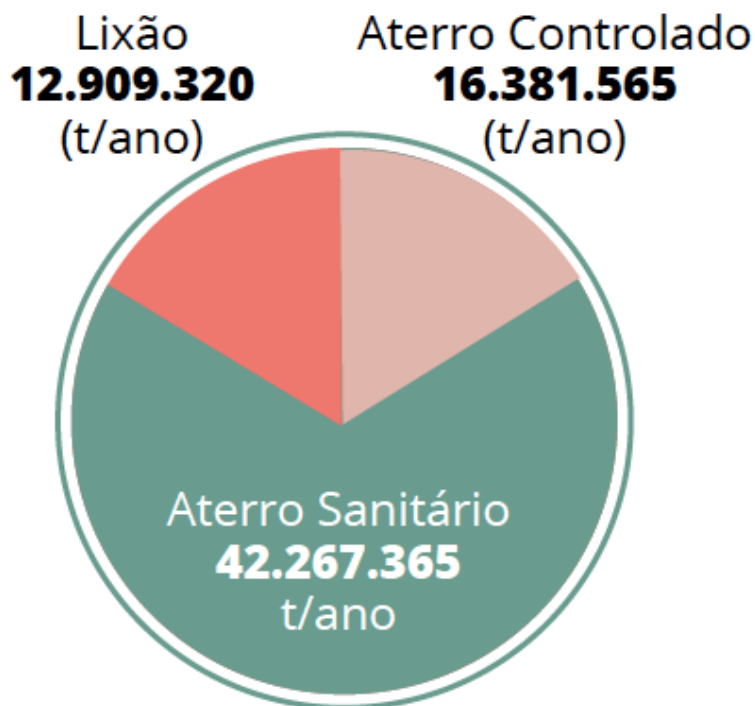
Os vazadouros a céu aberto, também conhecidos como lixões, são áreas de disposição final de resíduos que não possuem nenhum sistema de tratamento de efluentes líquidos, comprometendo o solo e o lençol freático (IBGE, 2010).

O aterro controlado possui um sistema que minimiza o mau cheiro, evitando a proliferação de animais e insetos, no entanto, não conta com a impermeabilização do solo, nem com sistema de tratamento de biogás ou chorume (IBGE, 2010).

A forma mais adequada de disposição, o aterro sanitário, conta com a impermeabilização do solo, com selamento da base por meio de mantas de PVC e de argila, possuindo captação e tratamento do chorume e dos gases provenientes da decomposição dos resíduos (IBGE, 2010).

O gráfico seis apresenta a quantidade dos resíduos sólidos urbanos coletados e destinados para aterro sanitário, lixão e aterro controlado no Brasil em 2017.

**Gráfico 6** – Destinação final da coleta seletiva no Brasil em 2017



Fonte: ABRELPE (2017).

O quadro 23 apresenta a distribuição pelas três formas de destinação final de RSU por cada região brasileira em 2017.

**Quadro 23** - Quantidade de Municípios por Tipo de Destinação Adotada em 2017

Destinação final	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro sanitário	90	449	159	817	703	2218
Aterro Controlado	108	484	159	634	357	1742
Lixão	252	861	149	217	131	1610

Fonte: ABRELPE (2017).

Há milhares de municípios que destinam seus resíduos aos aterros controlados e lixões, apesar da Política Nacional de Resíduos Sólidos ter como meta a erradicação de lixões (BRASIL, 2010a).

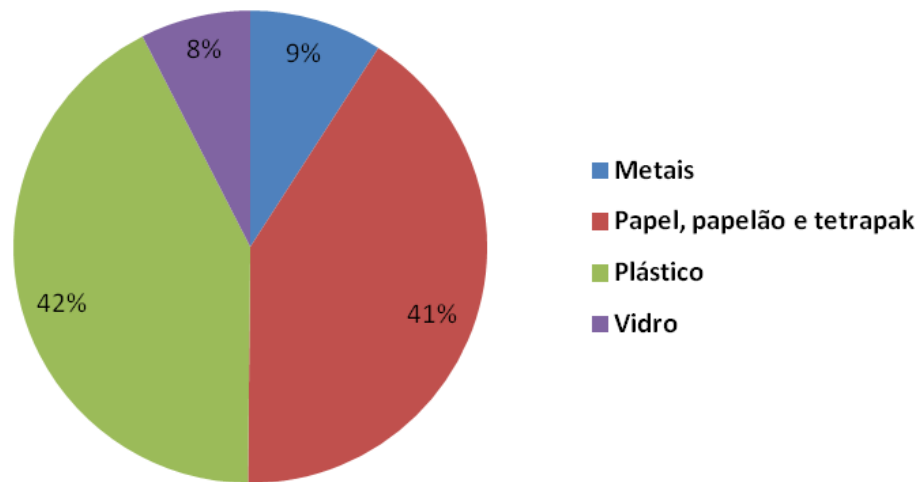
Com relação aos custos, no ano de 2017 no Brasil foram aplicados 25.856 milhões de reais para a coleta de resíduos sólidos urbanos e demais serviços de limpeza urbana e na média cada município gasta cerca de 10,37 reais por mês por habitante, ou seja, um gasto anual de 124,44 por ano (ABRELPE, 2017). Os empregos diretos gerados pelo setor de



limpeza urbana para o ano de 2017 foram de 336.804 entre públicos e privados (ABRELPE, 2017).

Atividades de reciclagem têm demonstrado um aumento notável na última década devido às dimensões econômicas e ambientais da sustentabilidade (INGHELS; DULLAERT, 2010). A composição dos resíduos recicláveis brasileiros é demonstrada no gráfico 7.

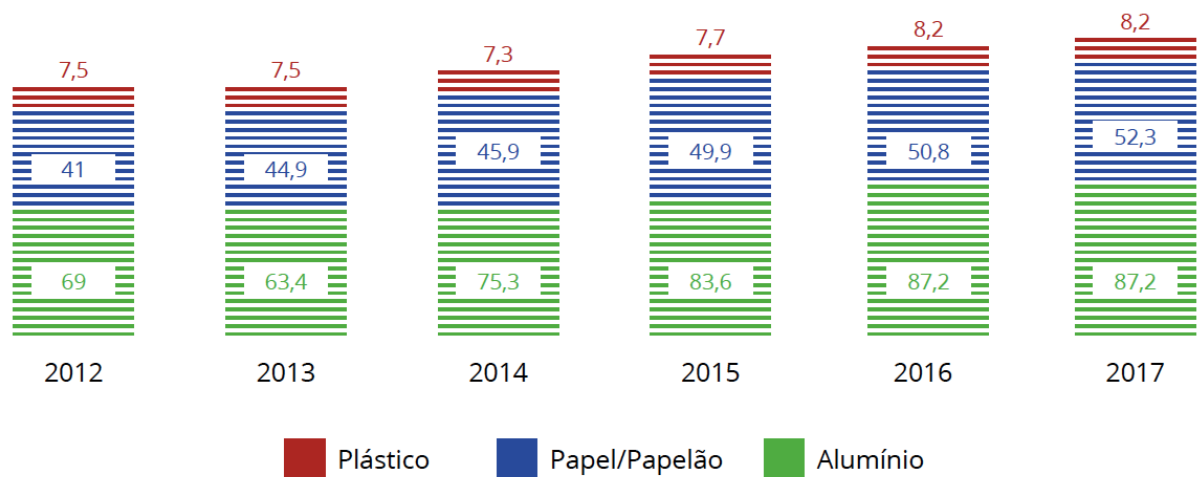
**Gráfico 7 - Composição dos resíduos recicláveis**



Fonte: Brasil (2012).

De acordo com a ABRELPE (2014), os setores industriais que lidam com alumínio, papel e plástico, possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no país. A evolução desta atividade é apresentada no gráfico oito.

**Gráfico 8 - Índices de Reciclagem Disponíveis para Alumínio, Papel e Plástico (%)**



Fonte: ABRELPE (2017).

Nota-se que há um crescimento na recuperação de plástico, papel/papelão e alumínio em função do tempo, com destaque positivo para o alumínio que está quase atingindo 90% de reaproveitamento, porém há necessidade de melhorar a recuperação do plástico que ainda não atingiu 10% do gerado, ou seja, mais de 90% do plástico que entra em circulação acaba destinado ao aterro sanitário ou possuindo outros fins.

### **3.4 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e a Economia Circular**

O presente capítulo apresenta uma revisão sobre o conceito de Economia Circular e sua contribuição para a área de gestão de resíduos sólidos urbanos.

#### **3.4.1 Introdução a Economia Circular**

Nosso planeta é finito e limitado em matéria prima, recursos energéticos não renováveis, espaço e na capacidade de assimilar a poluição gerada (LEITÃO, 2015). O aumento da demanda de recursos gera uma pressão sobre o meio ambiente (ILIC; NIKOLIC, 2016). Impactando o bem-estar das gerações atuais e apresentando riscos e desafios para o futuro (LEITÃO, 2015).

Algumas discussões enfatizaram a necessidade de repensar e mudar a atual estrutura econômica predominante, caracterizada como um sistema aberto com a suposição de recursos ilimitados, baseado em um modelo linear de extração, utilização e descarte de recursos, considerado insustentável (KRISTENSEN *et al.*, 2016; LIEDER; RASHID, 2016; ILIC; NIKOLIC, 2016).

Além dos danos ambientais em escala global, a atual economia provoca alterações nos preços das commodities, competição global por recursos, transforma a indústria e a sociedade dependentes das importações e vulneráveis a preços, volatilidade do mercado e da situação política dos países fornecedores (LEITÃO, 2015).

A Economia Circular (EC) é um modelo que possibilita repensar as práticas econômicas da sociedade moderna (LEITÃO, 2015). Ela tem o potencial de entender e implementar novos padrões e ajudar a sociedade a alcançar uma maior sustentabilidade e bem-estar, sem a entrada de novos materiais e energia, baixa poluição, alto nível de eficiência e elevadas taxas de circulação (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; JUN; XIANG, 2011).

Ela enfatiza a importância de levar em conta a circulação de material e sua relação entre oferta e demanda como fatores endógenos ao estudar as forças que promovem o crescimento econômico, além da circulação de capital e circulação de trabalho e suas relações (YONG, 2007).

A EC requer uma visão mais ampla e abrangente do desenvolvimento de soluções alternativas ao longo de todo o ciclo de vida de qualquer processo, bem como a interação entre o processo, o ambiente e a economia em que está inserido, para que a regeneração não seja apenas a recuperação de material ou de energia, mas se torne uma melhora de todo o modelo econômico e da sociedade (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Segundo Korhonen *et al.* (2018), a EC possui uma abordagem nobre ao tentar mitigar os desafios ambientais e econômicos. De acordo com Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), ela sempre se apresentou como um modelo alternativo à economia neoclássica, tanto do ponto de vista teórico quanto prático, uma vez que reconhece o papel fundamental do meio ambiente, bem como suas funções e a interação entre o meio ambiente e o sistema econômico.

Ela não é apenas uma abordagem preventiva que visa a redução da poluição, mas busca também reparar os antigos danos através do redesenho de sistemas de produção e serviços (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Uma variedade de benefícios, incluindo os econômicos, ambientais e sociais, pode ser obtida através da implementação dela (GENG *et al.*, 2012).

Um dos princípios inovadores e fundamentais da EC é evitar o desperdício no final de sua vida, seguindo para alimentar a cadeia industrial, tanto como fluxos de materiais quanto de energia, assim, sua inclusão no design de produtos e processos permite fechar o ciclo de material e energia (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

De uma perspectiva ecológica, uma Economia Circular pode reestruturar o fluxo material entre o ecossistema e o sistema socioeconômico para um estado equilibrado (YONG, 2007), ou seja, é uma solução para harmonizar o crescimento, a proteção ambiental e a economia de recursos em um único objetivo (LIEDER; RASHID, 2016; JUN; XIANG, 2011).

Minimizando a exploração do meio ambiente, a escassez de recursos, a poluição e o uso de materiais virgens para a atividade econômica (ANDERSEN, 2007; SU *et al.*, 2013). Conseqüentemente evitando a liberação de materiais nocivos ao meio ambiente (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016) e garantindo que a velocidade de esgotamento de recursos e geração de resíduos seja reduzido (LIEDER; RASHID, 2016).

Assim, a EC mantém o valor agregado dos produtos pelo maior tempo possível, excluindo os resíduos, recuperando a matéria orgânica, a água, a necessidade de menos energia e reforçando a proteção ambiental (GARCIA, 2016).

Do ponto de vista econômico, ela é capaz de internalizar o meio ambiente como um fator endógeno na promoção do desenvolvimento econômico, através do uso sustentável de recursos naturais, minimizando os custos ambientais e a escassez (YONG, 2007).

Proporcionando a criação de empregos, novos negócios, inovação, vantagem competitiva no mercado global e ajuda a remover barreiras verdes no comércio internacional (GARCIA, 2016; SU *et al.*, 2013).

Para obter benefícios econômicos, a atividade industrial depende fundamentalmente dos recursos necessários para realizar operações de fabricação e transformar matérias-primas em produtos, visto que a volatilidade dos preços dos recursos e os riscos de fornecimento têm influência direta sobre a vantagem competitiva das empresas e sua capacidade de realizar sua atividade industrial de maneira sustentável e rentável (LIEDER; RASHID, 2016).

Logo a necessidade de regulamentar, estruturar e desenvolver novas possibilidades de atividades. Com a aplicação da EC, visando uma eficiência de recursos alcançada pela manutenção do valor agregado, por meio do uso consciente de matérias-primas e de energia em todas as etapas na cadeia de valor (YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006).

De acordo com a Comissão Europeia (2014), alguns dos caminhos para alcançar a eficiência de recursos incluem durabilidade, eficiência, substituição, design ecológico, simbiose industrial e aluguel. As transformações necessárias para alcançar essa eficiência de recursos são baseadas em inovações técnicas, sociais e organizacionais em toda a cadeia de valor, que conectam produção e consumo (COMISSÃO EUROPEIA, 2014).

Os componentes para alcançar estas transformações são apresentados no quadro 24.

#### **Quadro 24 - Elementos necessários para uma Economia Circular**

<b>Componentes</b>	<b>Ações</b>
Competências e conhecimento	Empreendedorismo e capacitação e multidisciplinaridade
Inovação organizacional	Soluções e sistemas integrados, logística, modelos de negócios e ferramentas de apoio a políticas
Inovação social	Novos modelos de produção e consumo, envolvimento dos cidadãos, modelos de serviços de produtos e serviços de design; Inovação tecnológica, incluindo design de materiais e processos, design de produtos e gerenciamento de recursos (resíduos, água, energia e matérias-primas)
Conscientização	Disseminação e internacionalização
Participação	Envolvimento de múltiplas partes interessadas

Fonte: Comissão Europeia (2014).

Os princípios básicos da Economia Circular são: reduzir o volume de produção e a entrada de recursos e materiais e de resíduos ao longo do ciclo de vida dos produtos, a reutilização está relacionada ao reaproveitamento ilimitado de recursos ou produtos e a reciclagem é o aproveitamento dos recursos que seriam vistos como inútil (JUN; XIANG, 2011).

Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) mencionam outros 3 princípios extraídos de um dos principais atores da EC, a *Ellen MacArthur Foundation*, que complementam os princípios dos 3Rs. O primeiro é o design apropriado, que enfatiza a importância do estágio de projeto na busca de soluções para evitar o descarte de resíduos em aterros sanitários, ou seja, produtos projetados para um ciclo de desmontagem e reutilização.

O segundo introduz uma reclassificação dos materiais em técnicos (como metais e plásticos) sendo projetados para serem reutilizados no final do ciclo de vida e a outra classificação como nutrientes, que em geral não são tóxicos e podem retornar com segurança à biosfera ou o reuso (GHISELLINI, CIALANI; ULGIATI, 2016).

O terceiro princípio é a renovação, a qual coloca a energia renovável como principal fonte de energia para a economia circular, reduz a dependência de energia fóssil e aumenta a adaptabilidade do sistema econômico em relação aos efeitos negativos do petróleo (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Já JUN e XIANG (2011) mencionam que um sistema de ciclo sustentável da economia deve ter 5 características. Primeiro, a produção e o consumo devem transformar, tanto quanto possível, o uso de energias que causam poluição ao meio ambiente em energias verdes renováveis (JUN; XIANG, 2011). Segundo, minimizar o consumo de matérias-primas e selecionar materiais capazes de serem reciclados, terceiro, evitar as embalagens e que sejam capazes de serem reciclados (JUN; XIANG, 2011). Quarto, reduzir os resíduos industriais que devem ser reciclados da forma mais completa possível e por último, promover a indústria de recursos de reciclagem e de produtos pós-consumo, consequentemente aumentando a vida do aterro sanitário e reduzindo a incineração (JUN; XIANG, 2011).

Para Korhonen *et al.* (2018), do ponto de vista acadêmico, as discussões conceituais sobre Economia Circular são novas e a literatura está apenas emergindo. Portanto, é um tema atual com um aumento de publicações a partir de 2005 (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

A origem do termo é debatida e relacionado a uma série de significados e associações por diferentes autores (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

O conceito de EC possui diferentes escolas de pensamento e mostra estar enraizado em diversos contextos teóricos e apropriando conceitos da economia ecológica, economia

ambiental, ecologia industrial, *cradle-to-cradle*, leis da ecologia, ciclos e economia de desempenho, design regenerativo, biomimética, economia azul, gerenciamento da cadeia de suprimento verde e simbiose industrial (GEISSDOERFER *et al.*, 2017; GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017).

Existem várias possibilidades para definir a economia circular (LIEDER; RASHID, 2016). A seguir é apresentada uma série de definições sobre EC.

De acordo com Murray, Skene e Haynes (2017) o termo possui um significado lingüístico e descritivo. Linguisticamente é o antônimo de uma economia linear, ou seja, uma economia circular busca a redução do efeito negativo no meio ambiente, tentando restaurar o dano causado na aquisição de recursos, evitando o desperdício durante o processo de produção e no ciclo de vida do produto (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). O seu segundo significado é o descritivo, relacionado com o conceito do ciclo, como por exemplo, os ciclos biogeoquímicos e a idéia de reciclagem de produtos (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Desta forma, a EC é um modelo econômico que projeta e gerencia os recursos, as aquisições, a produção e o reprocessamento, tanto no processo de entrada quanto de saída, afim de maximizar o funcionamento do ecossistema, o bem-estar da sociedade e estender a vida útil dos materiais (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017; TISSERANT *et al.*, 2017).

Para XU, LI e WU (2009), uma Economia Circular visa encontrar um caminho coerente para a economia, a sociedade e o meio ambiente em um sistema afim de alcançar um benefício coletivo otimizado, com trocas de materiais, informações e circulação de energia, água, materiais entre os atores. Tornando se a principal estratégia de desenvolvimento em cada vez mais regiões e países (JUN; XIANG, 2011).

Está na negação da economia tradicional, a qual segue um fluxo unidirecional da economia linear (recursos → produtos → resíduos). Assim, ela é caracterizada pelo baixo consumo de materiais e recursos no decorrer da produção, baixo nível de poluição, alta eficiência e altas taxas de circulação, permitindo que os recursos sejam reutilizados durante a produção (JUN; XIANG, 2011).

Para Korhonen *et al.* (2018), o conceito deve estar de acordo com o atual consenso acadêmico, industrial e político e que os sistemas econômicos devem utilizar os ciclos da natureza para preservar materiais, energia e nutrientes para uso sustentável, com a finalidade de de reduzir o consumo e os fluxos de produção linear de materiais e energia através da aplicação de fluxos circulares.

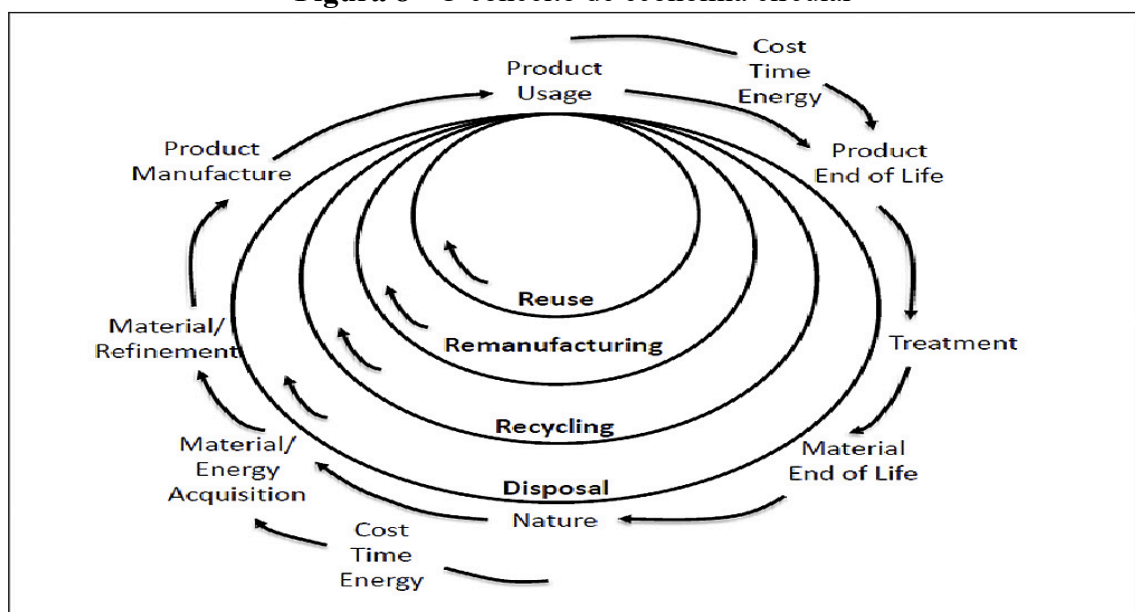
Geissdoerfer *et al.* (2017) definem a Economia Circular como um sistema regenerativo no qual recursos, resíduos, emissões e energia são minimizados pela desaceleração da utilização e circulação do material e energia, através de ciclos fechados, alcançados por meio de produtos desenvolvidos para terem uma longa duração, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, reforma e reciclagem.

A EC é um modelo que otimiza o fluxo de materiais, maximizando o aproveitamento dos recursos naturais e minimizando a geração de resíduos, desta forma é uma nova forma de pensar as cadeias produtivas, trazendo benefícios estratégicos e operacionais aos níveis microeconômico e macroeconômico, possuindo oportunidades de modelos e processos de negócio, empregos, design de produtos e inovação, estimulando o crescimento econômico sustentável e integrador, com efeitos positivos sobre o ambiente, a sociedade e a economia (LEITÃO, 2015).

Resumido, a Economia Circular repensa as atividades econômicas, ou seja, busca um equilíbrio entre a produção e o consumo, com um planejamento que visa a redução do desperdício e da poluição através da circulação de materiais, energia, água e eliminando os resíduos.

A figura oito apresenta o conceito de economia circular, no qual os círculos internos exigem menos energia, tempo e recursos, sendo mais econômicos e maximizados (KORHONEN *et al.*, 2018).

**Figura 8 - O conceito de economia circular**



Fonte: Korhonen *et al.* (2018).

Apesar dos conceitos presentes na literatura, a sua aplicação prática tem deixado a desejar e é fundamental passar da retórica para a implementação (LEITÃO, 2015).

### 3.4.2 Aplicação e implementação

A eficiência da Economia Circular e a proteção ambiental se tornariam fatores cruciais para orientar as políticas de transição para novos padrões de produção e consumo, permitindo uma transição mais suave para estilos de vida e dinâmicas socioeconômicas diferentes e mais saudáveis (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Embora sua implementação ainda esteja em um estágio inicial de desenvolvimento, ela oferece uma estrutura confiável para melhorar radicalmente o atual modelo de negócios para o desenvolvimento ecológico industrial preventivo e regenerativo, bem como o aumento do bem-estar (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A implementação da EC envolve os diferentes atores envolvidos no ciclo de vida de um produto: as empresas, os consumidores, o Governo, as autoridades locais, órgãos legislativos, organizações não governamentais (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017; LEITÃO, 2015). O governo e as empresas têm sido os principais atores que contribuem para a aplicação e desenvolvimento da EC, por meio do redesenho de seus produtos e processos (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

Alguns autores como Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), Geissdoerfer *et al.* (2017) e Korhonen *et al.* (2018) citam a organização *Ellen MacArthur Foundation* como um ator importante dentro da economia circular. A *Ellen MacArthur Foundation*<sup>1</sup> foi fundada em 2010 exercendo um papel essencial dentro da economia circular, liderando o pensamento global sobre o tema e estabelecendo a EC na agenda dos tomadores de decisão nos negócios, governos e academia, além de possuir um sítio eletrônico, onde há um repositório de trabalhos científicos envolvendo o tema.

A Economia Circular pode ser implementada em diferentes níveis, desde uma perspectiva de uma única empresa, a uma abordagem de cadeia de valor e até a uma economia global (NIERO; OLSEN, 2016).

Segundo Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016), a Economia Circular tem sido relacionada com a gestão de resíduos. Porém, o que está em jogo é uma mudança de

---

<sup>1</sup> <https://www.ellenmacarthurfoundation.org>



paradigma, não apenas relacionado aos resíduos, mas outros elementos como a água e a energia (LEITÃO, 2015).

Assim, o conceito de EC tem sido proposto para abordar questões ambientais, transformar os resíduos em recursos e abrir caminhos para outras atividades de produção e consumo (WITJES; LOZANO, 2016), como, por exemplo, energia, água e alimentos.

Geissdoerfer *et al.* (2017) afirmam que atualmente a aplicação prática da Economia Circular está relacionada a sistemas econômicos e processos industriais que incorporam diferentes recursos. Já Korhonen *et al.* (2018) mencionam que a EC é vista pela perspectiva de sistema de produção e consumo e que deve ser analisada por sua contribuição holística para a sociedade através de um desenvolvimento mais sustentável.

A pesquisa demonstra que a Europa, Japão, Estados Unidos, Coreia do Sul e Vietnã estão aderindo à economia circular e aos princípios dos 3Rs, principalmente em políticas de gestão de resíduos (SAKAI *et al.*, 2011).

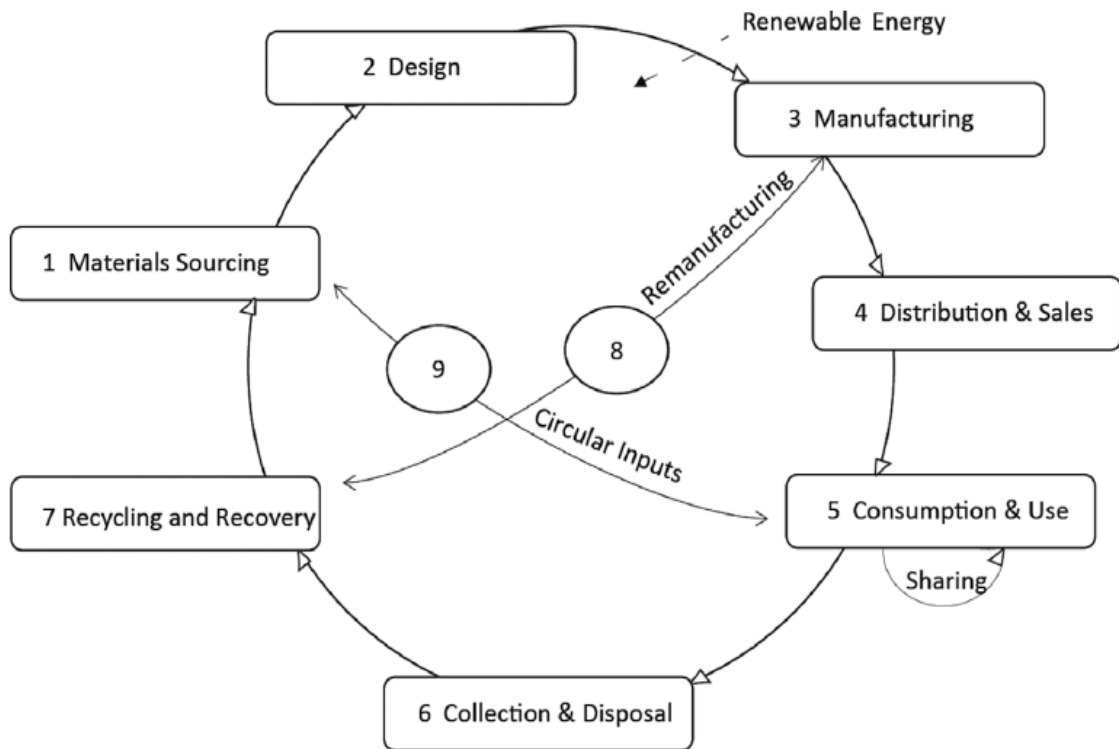
Há também um predomínio de pesquisas realizadas por países europeus e pela China, justificado pelo interesse de empresas e legisladores nessas regiões, uma vez que a economia circular está presente nas agendas destes países (GEISSDOERFER *et al.*, 2017).

A implantação da Economia Circular na agenda, documentos políticos e estratégias de investimento dos países europeus, significa a possibilidade da promoção do crescimento econômico a partir da criação de novas empresas/negócios e oportunidades de trabalho, economia no custo dos materiais, o amortecimento da volatilidade dos preços, melhora na segurança do fornecimento, ao mesmo tempo, reduzindo as pressões e impactos ambientais (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017).

Há também uma predominância de estudos de casos de Economia Circular que descrevem o desenvolvimento na China, justificado pela adoção dela em 2002, como estratégia nacional de desenvolvimento, com a expectativa de que essa estratégia promoveria o desenvolvimento urbano sustentável e estabeleceria um equilíbrio entre o campo e as áreas urbanas, além da eliminação de resíduos e a realocação de recursos (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017).

De forma geral a aplicação da Economia Circular segue o fluxo demonstrado na figura nove. Composto por nove variáveis: Fonte de materiais; Design, Fabricação, Distribuição e Vendas; Consumo e Uso; Coleta e Disposição; Reciclagem e Recuperação; Remanufaturamento; e por fim Entradas Circulares.

**Figura 9** - O fluxo de recurso através de uma cadeia de valor em uma economia circular



Fonte: Kalmykova, Sadagopan e Rosado (2017).

Cada variável presente na figura nove é formada por uma série de estratégias, que são definidas no quadro 25.

**Quadro 25** - Estratégias e definições para uma cadeia de valor em uma economia circular

Cadeia de uma Economia Circular	
1 Fonte de materiais	
Estratégia	Definição
Diversidade e vínculos intersetoriais	Estabelecimento de padrões industriais para promover uma colaboração transparente, por meio de ferramentas financeiras e de gerenciamento de risco, regulamentação, infraestrutura de desenvolvimento e educação.
Produção de energia / autonomia energética	Produção de energia a partir de subprodutos e / ou recuperação de calorífica residual, suportado por uma estrutura operacional.
Contratação/compra Verde	Um processo pelo qual as autoridades / empresas públicas optam por adquirir bens e serviços com a mesma função primária, mas com menor impacto ambiental medido, por exemplo, pela comparação da Avaliação de ciclo de vida de bens e serviços.
Avaliação de ciclo de vida	É um método estruturado, abrangente e internacionalmente padronizado. Quantifica todas as emissões e recursos consumidos e relata os impactos ambientais, de saúde e esgotamento de recursos associados a quaisquer bens ou serviço.
Substituição de materiais	Substituição de materiais para os mais abundantes / renováveis, tornando o processo de produção mais resiliente às flutuações de preços e escassez de recursos.
Créditos tributários e subsídios	Reduzir o imposto sobre os recursos, por exemplo, em materiais e produtos de base biológica.

Continua

Continuação

<b>Cadeia de uma Economia Circular</b>	
<b>2 Design</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Customização/Personalização / feito sob encomenda	Os produtos são feitos sob medida para atender às necessidades e preferências do cliente. Pode reduzir o desperdício e evitar o excesso de produção. Os clientes satisfeitos com os produtos retornarão ao fabricante para estender a vida útil dos produtos e manter suas características preferidas. A lealdade do cliente ao fabricante é incorporada.
Design para desmontagem / reciclagem	Projeto que considera a necessidade de desmontar produtos para reparo, recondicionamento ou reciclagem.
Design para modularidade	Produtos compostos por módulos funcionais para que os produtos possam ser atualizados com novas funcionalidades. Os módulos podem ser reparados ou substituídos individualmente, aumentando assim a longevidade do produto.
Eco Design	Design de produto com foco em seus impactos ambientais durante todo o ciclo de vida.
Redução	Projeto e fabricação envolvendo redução no uso de materiais e eliminação do uso de substâncias nocivas.
<b>3 Fabricação</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Eficiência energética	Fornecer os serviços necessários com entrada reduzida de energia, o que pode ser alcançado por processos de redução de consumo e eficiência energética.
Produtividade material	No nível da empresa: o valor econômico gerado por uma unidade de entrada de material ou consumo de material. No nível da economia: Produto Interno Bruto por material de entrada / consumo.
Fabricação reproduzível e adaptável	Uma tecnologia de produção transparente que pode ser aplicada em outros lugares usando recursos e habilidades disponíveis no país.
<b>4 Distribuição e vendas</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Design de embalagem otimizado	Estratégias eficientes de design de embalagem que cumpram com as regulamentações e que utilizam no fim da vida útil o material da embalagem.
Redistribuir e Revender	Estender a revenda e a vida útil de produtos usados. Portanto, menos produtos, que servem para o mesmo propósito, devem ser produzidos. Os produtos completos ou seus componentes podem ser revendidos.
<b>5 CONSUMO E USO</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Envolvimento da comunidade	O envolvimento voluntário da comunidade e de diferentes partes interessadas na organização de plataformas de compartilhamento e na orientação sobre reparo e substituição de produtos.
Rotulagem ecológica	Uma certificação de proteção ambiental comprovada de um produto /serviço dentro de sua respectiva categoria. Com a supervisão de órgãos públicos ou privados.
Produto como serviço ou sistema de serviço do produto	A propriedade do produto cabe ao produtor, o qual deve pensar sobre o projeto, uso, manutenção, reparo e reciclagem durante toda a vida útil do produto. O cliente paga um aluguel pelo tempo de uso.
Rotulagem de produtos	Com o objetivo de garantir que os consumidores tenham informações completas sobre os constituintes, a origem das matérias-primas, etc., para que possam tomar decisões informadas.
Reuso	A reutilização secundária direta prolonga a vida útil do produto pelo uso de segunda mão. Portanto, menos produtos, que servem para o mesmo propósito, devem ser produzidos. Os produtos completos ou seus componentes podem ser reutilizados.
Compartilhamento	Uso compartilhado, acesso e propriedade de espaço, produtos, plataformas, entre outros. Espaço multiuso.

Continua

Continuação

<b>Cadeia de uma Economia Circular</b>	
Consumo socialmente responsável	Um consumidor socialmente responsável compra produtos e serviços que possuem menos influência negativa sobre o meio ambiente e / ou que apoiam empresas que também têm impacto social positivo.
Responsabilidade	Assumir a responsabilidade de proteger o recurso por meio de conservação, reciclagem, regeneração e restauração. Um bem comum é considerado, por exemplo, um recurso natural.
Virtualizar	Desmaterialização. Por exemplo, livros eletrônicos / streaming, compras eletrônicas, uso de telecomunicações para diminuir o uso de escritórios e viagens.
<b>6 Coleta e disposição</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Responsabilidade Estendida do Produtor	É uma abordagem de política ambiental na qual a responsabilidade de um produtor por um produto é estendida para o estágio pós-consumido do ciclo de vida de um produto.
Reciclagem incentivada	Um método para recompensar a reciclagem consistente e repetitiva, por exemplo, um reembolso.
Logística / Infraestrutura	Instalações para promover coleta e descarte pós-consumo de baixo custo, que economizam tempo e são ambientalmente seguros. Soluções que geram ótima coleta.
Separação	Os constituintes biológicos devem ser separados dos constituintes artificiais / inorgânicos. Os nutrientes não biológicos devem ser usados para remanufatura e os nutrientes biológicos devem ser restaurados ou degradados naturalmente.
Sistemas de devolução e troca	Os sistemas eficientes de devolução garantem que os produtos sejam recuperados do consumidor após o fim da vida útil e passem para o manufaturado. Os sistemas de devolução podem garantir um fluxo contínuo de material para remanufatura.
<b>7 RECICLAGEM E RECUPERAÇÃO</b>	
<b>Estratégia</b>	<b>Definição</b>
Uso de subprodutos	Os subprodutos de outros processos de fabricação e suas correspondentes cadeias de valor são usados como matéria-prima para a fabricação de novos produtos.
Cascata	Materiais e componentes usados em diferentes fluxos de valor após o fim da vida útil. A extração embutida, mão de obra e capital são conservados em toda a cascata.
<i>Downcycling</i>	É o processo de conversão de produtos usados em diferentes produtos novos de qualidade inferior ou funcionalidade reduzida.
Recuperação de elemento / substância	O processo de recuperação de metais, não metais e outras substâncias reutilizáveis de um fluxo de resíduos de material.
Recuperação de energia	A conversão de materiais residuais em calor, eletricidade ou combustível através de uma variedade de processos de transformação em energia, incluindo combustão, gaseificação, pirólise, digestão anaeróbica e recuperação de gás de aterro.
Extração de bioquímicos	Conversão de biomassa em produtos químicos de baixo volume, mas de alto valor, gerando calor, energia, combustível ou produtos químicos a partir da biomassa.
Reciclagem funcional	Processo de recuperação de materiais, excluindo a recuperação de energia.
Reciclagem de alta qualidade	Recuperação de materiais em forma pura, sem contaminação, para servir como matérias-primas secundárias para posterior produção de produtos de qualidade igual ou similar.
Simbiose industrial	Troca e / ou compartilhamento de recursos, serviços e subprodutos entre empresas.
Compostagem	Processo em que os nutrientes biológicos são devolvidos ao solo após decomposição por microorganismos e outras espécies.

Continua

Conclusão

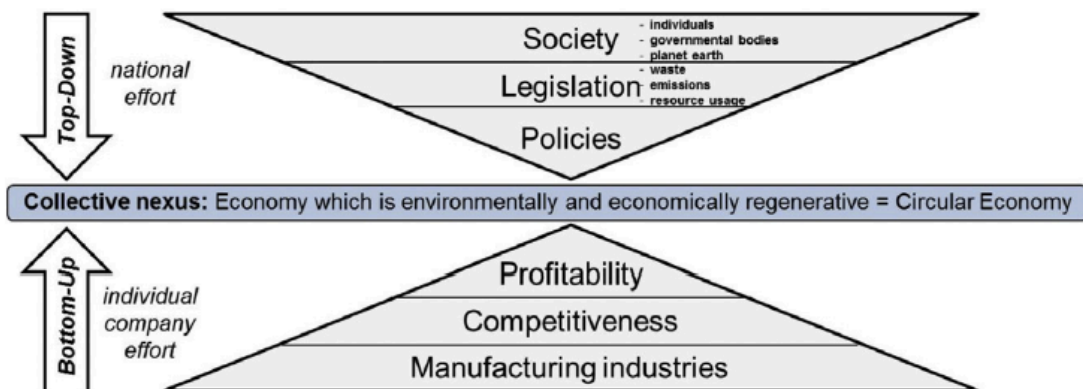
Cadeia de uma Economia Circular	
Upcycling	Converter materiais em novos materiais de maior qualidade e funcionalidade.
8 REMANUFATURA	
Estratégia	Definição
Remodelação / Remanufatura	Reconstruir um produto pela substituição de componentes defeituosos por reutilizáveis.
Atualização, manutenção e reparo	A maneira mais eficiente de manter ou restaurar o equipamento para o nível desejado de desempenho é a manutenção. Além disso, o serviço pós-venda é considerado chave para vantagem competitiva e oportunidade de negócio. A manutenção também é realizada sob a forma de reparo. Para erradicar a obsolescência do produto ou prolongar a vida útil do produto, são necessários serviços como atualização.
9 ENTRADAS CIRCULARES	
Estratégia	Definição
Materiais de base biológica	Entradas de recursos ou materiais que duram mais que um único ciclo de vida e podem ser facilmente regenerados.

Fonte: Kalmykova, Sadagopan e Rosado (2017).

Lieder e Rashid (2016) defendem que a viabilidade de implementação da Economia Circular necessita de uma estratégia *top-down* e *bottom-up* simultânea para manter os interesses de todas as partes interessadas, ou seja, formuladores de políticas, órgãos governamentais e indústrias manufatureiras.

Assim, a figura 10 ilustra o nexso coletivo que representa a convergência dos *stakeholders* relevantes. A viabilidade desta estratégia de implementação da Economia Circular está relacionada com as seguintes áreas: A) *top-down*: Legislação e política; Infraestrutura; Consciência social e B) *Bottom-up*: Modelos de negócios colaborativos; Design de produto; Cadeia de mantimentos; e Tecnologia da informação e comunicação (LIEDER; RASHID, 2016).

**Figura 10 - Proposta de implementação de Economia Circular**



Fonte: Lieder e Rashid (2016).

De acordo Lieder e Rashid (2016), o motivo para propor uma abordagem *top-down* e *bottom-up* esta na suposição de que existem motivações inversas entre as partes interessadas da EC que precisam ser alinhadas e convergidas.

O proporcionamento de vantagens econômicas faz as empresas industriais aderirem a EC, este cenário torna um processo concorrente obrigatório para convergir e comprometer os interesses das instituições públicas (superior) e múltiplos atores industriais (abaixo) com o objetivo de evitar a priorização dos benefícios ambientais em detrimento do crescimento econômico e vice-versa (LIEDER; RASHID, 2016).

É evidente que a EC apresenta uma estratégia política para a consideração sistêmica do esgotamento de recursos, conservação de energia e redução de resíduos. Porém a questão é se esta tendência de melhorias pode ser mantida e se os países conseguem reverter à antiga prática e padrões considerando a complexidade, diversidade desta economia (SU *et al.*, 2013).

As políticas e instrumentos econômicos utilizados no mundo são diversos como por exemplo, impostos, licenças ambientais e subsídios financeiros (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). Outro caso de aplicação da Economia Circular é visto na China, como uma política de Estado, sendo apresentado no próximo subitem.

### 3.4.3 A aplicação da Economia Circular na China

A China possui uma compreensão e objetivos relacionados a Economia Circular que são derivadas de atividades encontradas em países como Alemanha e Japão, principalmente ligadas à gestão de resíduos (YONG, 2007).

Na China diferentemente de outros países, a implementação da economia circular é aplicada através de um programa nacional, considerado parte de uma política mais ampla de transformação e desenvolvimento socioeconômico, o que garante a harmonia entre sociedade e meio ambiente (NAUSTDALSLID, 2014).

A economia circular é um instrumento político regulador na China (GENG *et al.*, 2012) com iniciativas governamentais e não governamentais (SU *et al.*, 2013), e com vários regulamentos para apoiar e construir sua implementação (GENG *et al.*, 2012).

De acordo com Geng *et al.* (2012), a primeira ação regulatória na China foi a Lei de Promoção da Produção Mais Limpa, que entrou em vigor em janeiro de 2003. A partir daí, várias políticas fiscais e outras políticas de incentivo foram implantadas (YONG, 2007).

Em 29 de agosto, de 2008, a Lei de Promoção da Economia Circular foi aprovada, a qual promove o desenvolvimento da economia circular, melhorando a eficiência na utilização

de recursos, protegendo o ambiente natural e realizando o desenvolvimento sustentável (GENG *et al.*, 2012).

Além destas leis, a China possui sistemas de certificação, rotulagem de produtos ambientalmente adequados, produtos que economizam energia e alimentos orgânicos (YONG, 2007). O que não implica dizer que é necessário melhorar as políticas existentes e desenvolver novas políticas (YONG, 2007).

Novas medidas como os impostos ambientais, a confiabilidade do seguro resultante de danos ambientais, o sistema de comércio de emissões e a rotulagem ambiental devem ser exploradas e incluídas na legislação (SU *et al.*, 2013).

O desenvolvimento da EC na China é atribuído a três forças propulsoras, a primeira é uma filosofia de governança, a segunda é uma evolução estratégica na integração do meio ambiente e da economia e a terceira é a grave situação de escassez de recursos naturais e poluição ambiental (YONG, 2007).

Considerados como desafios ambientais assustadores, ocasionados pela rápida industrialização e urbanização, aliado a uma negligente supervisão ambiental, que provocam a degradação da terra, desertificação, desmatamento, esgotamento da água, a poluição e a perda de biodiversidade (SU *et al.*, 2013).

Além das forças propulsoras a EC na China está baseada no princípio dos 3Rs, com ações locais guiadas pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (CNDR) e Administração Estatal de Proteção Ambiental (AEPA) que organizam as atividades de produção e consumo nos diferentes níveis através de um planejamento (YONG, 2007).

A implementação da EC exige esforços em três níveis: nível micro, nível intermediário e nível macro (SU *et al.*, 2013), ou seja, empresas individuais, parques eco-industriais e cidades ecológicas (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2017; YONG, 2007). Assim, projetos nacionais de diferentes níveis foram iniciados e indicadores quantitativos também foram divulgados para ajudar a avaliar o desempenho holístico desses projetos (GENG *et al.*, 2012).

No nível micro, na área de produção, as fábricas e os produtores agrícolas são encorajados ou obrigados a adotar uma produção mais limpa e um projeto ecológico, que busca reduzir a poluição e o uso eficiente dos recursos em todas as etapas de produção (SU *et al.*, 2013). Para atender esta demanda são aplicados fluxos fechados de material, redução do uso de materiais tóxicos, cuidados com a energia, afim de elevar a eficiência da utilização de recursos e reduzir ou evitar emissões (YONG, 2007).

No nível meso, as práticas incluem o desenvolvimento e reestruturação de parques e redes eco-industriais que funcionem em simbiose e um sistema agrícola ecológico, projetados de acordo com os princípios dos 3Rs, com sistemas de infraestrutura eficazes, compartilhamento de recursos comuns, tratamento, recuperação, disposição e um sistema de comércio de resíduos (SU *et al.*, 2013; YONG, 2007). Beneficiando tanto a economia regional e o ambiente natural (GENG *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2006).

Além disso, todas as empresas são obrigadas ou encorajadas a realizar auditorias de produção mais limpas, divulgando publicamente informações sobre seu desempenho ambiental para que o público possa monitorar sua operação (YUAN *et al.*, 2006).

No nível regional (cidades e províncias) são promovidas atividades de produção e consumo sustentáveis com objetivo de criar uma sociedade orientada para a reciclagem (GENG *et al.*, 2013; LI *et al.*, 2007).

As ações são implementadas através de redes de cooperação mais complexas e extensas entre indústrias e parques industriais dos setores primário, secundário e terciário e o turismo (SU *et al.*, 2013).

A aplicação dos princípios dos 3Rs, alcançados através do redesenho e rearranjo da infraestrutura e layout industrial da cidade, bem como a eliminação progressiva das empresas altamente poluidoras, tem o apoio de indústrias de alta tecnologia e da indústria do turismo (SU *et al.*, 2013). Um resumo das atividades relacionadas a Economia Circular na China é demonstrado no quadro 26.

**Quadro 26 - Estrutura das práticas de Economia Circular na China**

Prática	Micro (objeto único)	Meso (associação de simbiose)	Macro (cidade, província, estado)
Área de produção (primária, secundária, indústria terciária)	Produção mais limpa Eco-design	Parque Eco-industrial Sistema eco-agrícola	Rede eco-industrial regional
Área de consumo	Compra e consumo verde	Parque ambientalmente amigável	Serviço de aluguel
Área de gestão de resíduos	Sistema de reciclagem de produtos	Mercado de comércio de resíduos Parque industrial reciclagem	Simbiose Urbana
Outros apoios	Políticas e leis; Plataforma de informação; ONGs		

Fonte: Su *et al.* (2013).

Para uma implementação de sucesso é necessário que o governo chinês identifique com precisão as principais áreas tecnológicas e projetos de acordo com as exigências atuais e



apoie pesquisas no campo da economia de energia, reciclagem, alternativas e inovação tecnológicas, tanto a nível empresarial como acadêmico (SU *et al.*, 2013).

Uma implementação eficaz necessita de uma avaliação para uma futura melhora e o próximo subcapítulo apresenta alguns indicadores para a avaliação da aplicação da Economia Circular.

#### 3.4.4 Indicadores para Economia Circular

Considerando que o conceito de Economia Circular é compreensível por um lado, indicadores quantitativos para avaliar a “circularidade” das economias nacionais, ciclos de materiais, cadeias de valor e ciclos de vida do produto, por outro precisam ser desenvolvidos para facilitar a implementação (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O desenvolvimento bem sucedido de uma economia circular requer um sistema de indicadores para avaliação e a sua elaboração é a base para quantificar o desenvolvimento econômico e fornecer critérios (ZHIJUN; NAILING, 2007).

Um sistema de indicadores pode ser um conjunto de métricas valiosas para avaliar a solidez de seu desenvolvimento e fornecer diretrizes para os tomadores de decisão para desenvolver mais instrumentos de políticas eficazes (SU *et al.*, 2013).

De acordo com Su *et al.* (2013), no nível micro, na China cada empresa precisa adaptar os indicadores específicos da empresa de acordo com suas características, condições e problemas existentes. Assim, um conjunto único e unificado de indicadores pode falhar em capturar o desenvolvimento pleno da Economia Circular em diferentes empresas. (SU *et al.*, 2013)

Segundo Su *et al.* (2013), a Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (CNDR) chinesa possui quatro dimensões para indicadores: (1) Taxa de saída de recursos, refere-se à quantidade de valor de produção gerada a partir de uma unidade de material, terra, energia e água.

(2) Na dimensão taxa de consumo de recursos, os indicadores capturam a intensidade de energia e água, uma forma alternativa de ver como a eficiência de recursos foi alcançada. (3) A taxa integrada de utilização de recursos é projetada para examinar a taxa de reutilização de água industrial e a taxa de reciclagem de resíduos industriais. (4) A última dimensão examina disposição de resíduos e emissão de poluentes. É claro que esses indicadores foram construídos com base nos princípios da 3R, tendo como objetivo rastrear a melhoria da eficiência de recursos e energia e, assim, reduzir, reutilizar e reciclar os resíduos industriais.

Os indicadores destas quatro dimensões aplicadas no nível meso são apresentados no quadro 27.

**Quadro 27** - Indicadores da Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma da China para o nível meso

Dimensões	Número	Indicadores
Taxa de saída de recursos	1.1	Taxa de produção dos principais recursos minerais
	1.2	Taxa de rendimento da terra
	1.3	Taxa de saída de energia
	1.4	Taxa de saída de água
Taxa de consumo de recursos	2.1	Consumo de energia por unidade de valor de produção
	2.2	Consumo de energia por unidade de produção no setor industrial chave
	2.3	Consumo de água por unidade de valor de produção
	2.4	Consumo de água por unidade de produção no setor industrial chave
Utilização integrada de recursos	3.1	Taxa de utilização de resíduos sólidos industriais
	3.2	Taxa de reutilização de água industrial
	3.3	Taxa de reciclagem de efluentes industriais
Disposição de resíduos e emissão de poluentes	4.1	Taxa decrescente de geração de resíduos sólidos industriais
	4.2	Taxa decrescente de geração de efluentes industriais

Fonte: Su *et al.* (2013).

A estrutura de indicadores do Ministério da Proteção Ambiental (MPA) é diferente da proposta pela Comissão Nacional de Desenvolvimento e Reforma (CNDR), embora o número de dimensões seja o mesmo nos dois conjuntos de sistemas de indicadores, as preocupações são diferentes (SU *et al.*, 2013).

No quadro 28 são apresentados os indicadores para o nível meso do MPA, o qual possui quatro dimensões, cobrindo as perspectivas de redução e reciclagem de materiais, desenvolvimento econômico, controle de poluição, administração e gerenciamento (SU *et al.*, 2013).

**Quadro 28** - Indicadores do Ministério de Proteção Ambiental da China para o nível meso

Dimensões	Número	Indicadores
Desenvolvimento Econômico	1.1	Valor industrial adicionado per capita
	1.2	Taxa de crescimento do valor industrial adicionado
Redução de material e reciclagem	2.1	Consumo de energia por valor industrial adicionado
	2.2	Consumo de água doce por unidade de valor industrial adicionado
	2.3	Geração de efluentes industriais por unidade de valor industrial adicionado
	2.4	Geração de resíduos sólidos por unidade de valor industrial adicionado
	2.5	Taxa de reutilização de água industrial
	2.6	Taxa de utilização de resíduos sólidos industriais
	2.7	Taxa de reutilização de água intermédia

Continua

Conclusão

Dimensões	Número	Indicadores
Controle de poluição	3.1	Carga de demanda química de oxigênio por unidade de valor industrial adicionado
	3.2	Emissão de dióxido de enxofre por unidade de valor industrial adicionado
	3.3	Taxa de eliminação de resíduos sólidos perigosos
	3.4	Central de fornecimento da taxa de tratamento de águas residuais domésticas
	3.5	Taxa de tratamento seguro de resíduo doméstico
	3.6	Sistema de coleta de resíduos
	3.7	Instalações de fornecimento central para tratamento e disposição de resíduos
	3.8	Sistema de gestão ambiental
Administração e gestão	4.1	Estabelecimento da plataforma de informação
	4.2	Lançamento do relatório ambiental
	4.3	Satisfação do público com a qualidade ambiental local
	4.4	Grau de conscientização pública com o desenvolvimento eco-industrial

Fonte: Su *et al.* (2013).

O conjunto de indicadores usados em nível macro para a avaliação geral da Economia Circular sobre o desenvolvimento contêm quatro categorias: taxa de saída de recursos, taxa de consumo de recursos, utilização integrada de recursos e disposição de resíduos e emissão de poluentes (GENG *et al.*, 2012).

Seus indicadores são demonstrados no quadro 29.

#### Quadro 29 - Indicadores para o nível macro

Dimensões	Número	Indicadores
Taxa de saída de recursos	1.1	Saída do recurso mineral principal
	1.2	Saída de energia
	1.3	Uso da terra
	1.4	Saída de água
Taxa de consumo de recursos	2.1	Consumo de energia por unidade de PIB
	2.2	Consumo de energia por valor industrial adicionado
	2.3	Consumo de energia do produto unitário nos principais setores industriais
Taxa de consumo de recursos	2.4	Retirada de água por unidade de PIB
	2.5	Retirada de água por valor industrial adicionado
	2.6	Consumo de água por unidade de produto nos principais setores industriais
	2.7	Coefficiente de utilização de água de irrigação
Utilização integrada de recursos	3.1	Taxa de reciclagem de resíduos sólidos industriais
	3.2	Taxa de reuso da água industrial
	3.3	Taxa de reciclagem de águas residuais municipais recuperadas
	3.4	Taxa de tratamento seguro de resíduos sólidos domésticos
	3.5	Taxa de reciclagem de sucata de ferro
	3.6	Taxa de reciclagem de metais não ferrosos
	3.7	Taxa de reciclagem de resíduos de papel
	3.8	Taxa de reciclagem de plástico
	3.9	Taxa de reciclagem de borracha

Continua

Conclusão		
Dimensões	Número	Indicadores
Redução na geração de resíduos	4.1	Quantidade total de resíduos sólidos industriais para disposição final
	4.2	Quantidade total de descarga de águas residuais industriais
	4.3	Quantidade total de emissão de dióxido de enxofre
	4.4	Quantidade total de descarga de demanda química de oxigênio

Fonte: (Geng *et al.*, 2012).

Apesar das existências de diversos indicadores existem alguns problemas, como a falta de indicadores nas áreas sociais, simbiose urbano e industrial, indicadores orientados para a prevenção e indicadores absolutos de redução de energia / material, além de barreiras para a implementação (GENG *et al.*, 2012).

Geng *et al.* (2012) concluem que falta uma identificação clara de como os indicadores são aplicados e propõem uma investigação que determine como os indicadores podem ser integrados às metodologias de tomada de decisão e definição de políticas que permitam sua implementação efetiva.

Além destes desafios são apresentados outros para o desenvolvimento da Economia Circular.

### 3.4.5 Desafios para a Economia Circular

Como um novo modelo econômico, o indicador de medição, como mencionado anteriormente é uma questão crítica para examinar se as atividades atendem ao princípio de uma Economia Circular (YONG, 2007). Hass *et al.* (2015) revelam que a EC possui falta de critérios precisos para avaliar medidas para melhorar a circularidade da economia.

Os desafios são muitos em um processo de tomada de decisão (XU; LI; WU, 2009), visto que é uma opção de desenvolvimento econômico recente e possui diversos problemas que necessitam ser pesquisados e melhorados.

O primeiro desafio é melhorar as pesquisas científicas, porque de acordo com Korhonen *et al.* (2018) parecem ser vagas e sem uma análise crítica. Estas pesquisas precisam também focar nas estruturas que incluem benefícios econômicos ou vantagens competitivas (LIEDER; RASHID, 2016), uma vez que possibilitam o desenvolvimento e ampliação da EC.

As análises e discussões sobre o desenvolvimento da Economia Circular são realizadas na maior parte pela perspectiva de escassez de recursos e impacto ambiental, deixando os benefícios econômicos dos atores industriais de fora (LIEDER; RASHID, 2016), além de partes da cadeia de valor, como fabricação, distribuição e vendas (KALMYKOVA;

SADAGOPAN; ROSADO, 2017). Essa negligência econômica e de negócios representa um risco para a implementação da EC, uma vez que as vantagens para a indústria são inexplicáveis (LIEDER; RASHID, 2016).

Logo, trabalhar esta lacuna é essencial para a implementação bem sucedida da Economia Circular, porque os modelos de negócios, design de produto, projeto da cadeia de suprimentos e escolha de material são determinados pelas empresas de manufatura com a motivação de obter benefícios econômicos (LIEDER; RASHID, 2016).

A transição para uma EC exige uma mudança sistêmica de múltiplos níveis, que afeta todos os atores da cadeia de valor, incluindo inovação tecnológica, organizacionais, novos modelos de negócios, mudanças na sociedade e a colaboração entre partes interessadas (WITJES; LOZANO, 2016; LEITÃO, 2015).

Outros desafios que podem ter retardado ou impedido a implementação da Economia Circular são a falta de informações confiáveis, escassez de tecnologia avançada, poucos incentivos econômicos, pouca capacidade de fiscalização da legislação, liderança e gerenciamento deficientes, falta de conscientização pública e falta de um sistema padrão para avaliação de desempenho (SU *et al.*, 2013).

O quadro 30 desenvolvido por Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) apresenta quais são os limites ou desafios para a economia circular baseada nos princípios dos três Rs e outros três definidas pela *Ellen MacArthur Foundation*.

**Quadro 30** - Limites ou desafios para a Economia Circular

Princípios da Economia Circular	Limites ou desafios
Design	Ótimo cenário de vida do produto
	Projeto para desmontagem, reutilização, reciclagem.
	Design para produtos duráveis.
	Design para novo modelo de negócio de consumo.
Redução	Superar o efeito repercussão das estratégias de eco eficiência e eco suficiência.
Reuso	Reutilização técnica máxima de materiais
	Aumento da demanda do consumidor em relação à reutilização de produtos e materiais
	Desenvolvimento de mecanismos de retorno/ logística reversa das empresas
	Garantir reparo e uso secundário de produtos após seu uso original.
	Tributação baseada em energia não renovável e não em mão-de-obra e renovável energias

Continua

Conclusão

Princípios da Economia Circular	Limites ou desafios
Reciclagem	Reforço dos mercados locais de materiais reciclados.
	Riscos do comércio global de materiais. Resíduos plásticos: inviabilidade devido a mistura de contaminantes.
	Celulose: viável até 4 a 6 vezes
	Metais raros (falta de economias de escala).
	Desperdício Alimentar: transformações posteriores antes de serem utilizadas exigem altos custos em pesquisa e desenvolvimento
	Modelagem adequada de Avaliação de Ciclo de Vida para reutilização e reciclagem.
Reclassificação de materiais	Reutilizar após o primeiro ciclo
Nutrientes	Retorno seguro à Biosfera ou em uma cascata de usos subsequentes (biorrefinaria).
Recuperação energética	Aumentar sua participação em comparação com a participação de combustíveis fósseis.

Fonte: Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016).

Desenvolvimentos futuros para a implementação da EC exigirão um trabalho mais extenso na área de conscientização social, além dos novos modelos de negócios mencionados anteriormente.

Portanto, abordagens educacionais na área de gerenciamento de valor são necessárias para mudar a atual percepção predominante e descobrir o potencial dos sistemas de produtos circulares e sua vantagem competitiva (LIEDER; RASHID, 2016).

Afim de melhorar a conscientização e a participação do público, ações devem ser realizadas periodicamente, como propagandas nas mídias, intercâmbio de informações e workshops (SU *et al.*, 2013)

Se há uma necessidade da melhora da sociedade sobre as questões relacionadas ao tema, a EC também precisa melhorar a sua abordagem perante a sociedade, pois é praticamente silenciosa na dimensão social (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017).

De acordo com Murray, Skene e Haynes (2017), não está claro como o conceito da Economia Circular levará a uma maior igualdade social, em termos de equidade inter e intrageracional, gênero, igualdade racial e religiosa e outras diversidades, igualdade financeira, igualdade de oportunidades sociais, além de questões morais e éticas que estão faltando na prática.

### 3.4.6 Resíduo e Economia Circular

Uma gestão de resíduos sólidos inclui as medidas destinadas a reduzir os resíduos e seus efeitos adversos sobre o ambiente (ZURBRÜGG, 2003) e o objetivo de uma gestão de

resíduos sustentável é lidar de forma ambientalmente eficiente, economicamente viável e socialmente aceitável (THOMAS; MCDOUGALL, 2005).

Uma gestão integrada leva em consideração os aspectos ambientais, econômicos e sociais do gerenciamento de resíduos, ou seja, busca a melhor combinação de métodos de tratamento aplicáveis para minimizar os custos econômicos e maximizar a proteção ambiental e os benefícios sociais (ILIĆ; NIKOLIĆ, 2016).

Uma redução substancial ou total no volume final dos resíduos gerados poderia ser alcançada, se eles fossem desviados para alternativas que recuperassem recursos e materiais. A recuperação poderia ser utilizada para gerar receitas para financiar a gestão dos resíduos, constituindo assim, um sistema de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (GIRS) com base no princípio dos 3Rs - reduzir, reutilizar e reciclar (UNEP, 2009).

Desta forma, como as atividades de reciclagem têm apresentado um aumento notável nas últimas décadas devido as dimensões econômicas e ambientais da sustentabilidade, o planejamento das instalações de tratamento e produção tornou-se uma questão estratégica importante que afeta a rentabilidade da indústria de reciclagem (GEORGIADIS, 2013).

Moh e Manaf (2014) demonstram o desperdício de materiais nos aterros de países asiáticos em desenvolvimento, o que representa perdas financeiras pelo custo de disposição e pela falta de oportunidade pela não utilização. No Brasil, décadas atrás Calderoni (1999) mencionava o desperdício de dinheiro que literalmente ia para o lixo e parece que nada mudou, visto que o estudo do IPEA (2010) demonstra um desperdício de aproximadamente 8 bilhões de reais ao ano no Brasil, ou seja, resíduos potencialmente recicláveis são encaminhados diretamente para aterros e lixões nas cidades brasileiras.

Porém, trabalhar a questão da reciclagem representa tratar menos de 50% dos resíduos gerados no Brasil (ABRELPE, 2015), hoje a reciclagem já desempenha um papel importante na vida de diversas pessoas e uma melhor estruturação poderia ampliar esta cadeia produtiva, o que representaria ganhos sociais, ambientais, econômicos, entre outros.

É necessária uma atenção com os resíduos orgânicos, pois estes apresentam um alto percentual no resíduo sólido urbano e experiências de compostagem e outros tratamentos da fração orgânica ainda são incipientes no Brasil (IPEA, 2012). Logo, pensar alternativas para reciclar e aproveitar os resíduos orgânicos é essencial para melhorar a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos.

Moh & Manaf (2014) tratam isto como um novo paradigma. Os governos devem desenvolver políticas públicas para a minimização e o reaproveitamento dos resíduos,

premissa da Lei 12305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a).

Para Lin (2008) trata-se de um novo sistema econômico que se retroalimenta em uma Economia Circular. O autor propõe que os modelos e sistemas sejam estudados, a partir de cada realidade, assim otimizar os resultados e apoiar a tomada de decisão dos gestores, o que realmente demonstra ser uma lacuna para a implementação de políticas deste tipo.

O meio ambiente é considerado um fornecedor de recursos e um assimilador de resíduos (LIEDER; RASHID, 2016). O conceito de resíduo é eliminado por meio de sistemas projetados que aproveitam os materiais e as emissões em outros processos (NIERO; OLSEN, 2016). Com este novo pensamento o que anteriormente era considerado resíduo deve ser tratado como matéria-prima de outro processo, garantindo o fluxo de materiais continuamente num ciclo industrial fechado (LEITÃO, 2015).

A circulação pode avançar através da reciclagem e reutilização, mudança para fontes de energia renováveis e a conversão dos ganhos de eficiência em uma redução do nível geral de recursos, porém a circularidade não pode ser alcançada apenas com base na reciclagem (HASS *et al.*, 2015).

Se a sociedade mudar para o desperdício zero, caminhos de materiais alternativos como compostagem e reciclagem se tornarão mais atraentes. Além disso, a reciclagem sem compostagem não pode existir sozinha em uma estratégia de desperdício zero, uma vez que os resíduos orgânicos e alimentos compõem uma parte dos resíduos que podem ser tratados pela compostagem (ILIĆ; NIKOLIĆ, 2016).

Para implementar a economia circular, as ações de redução, reutilização e reciclagem devem ser incentivadas, o que resultará na redução da quantidade de resíduos nos aterros sanitários e ao mesmo tempo na criação de empregos verdes (ILIĆ; NIKOLIĆ, 2016).

Para promover o desenvolvimento econômico da EC é necessário melhorar a conscientização da comunidade sobre proteção ambiental e conservação dos recursos, para o qual a publicidade e a educação devem ser fortalecidas para defender o conceito de valores ecológicos e consumo verde em toda a sociedade (JUN; XIANG, 2011).

Para obter o melhor desempenho, os responsáveis devem considerar fatores como seleção do material de origem, treinamento dos funcionários, conscientização pública, simplicidade de coleta e compensações ambientais para diferentes abordagens de gerenciamento de resíduos (HOTTLE; BILEC; BROWN; LANDIS, 2015).

A reciclagem de forma geral necessita de um design ecologicamente consistente de produtos que aumente a vida útil, forneça o mesmo serviço com menos requisitos de material



e facilite o reparo e revenda, atualizações de produtos, modularidade e remanufatura, reutilização de componentes e a reciclagem no fim de vida do produto (HASS *et al.*, 2015).

Os produtos e materiais passam a ser desenhados e desenvolvidos para que voltem à cadeia de produção, caracterizados pela facilidade de triagem e maximização da sua reutilização e reciclagem como matéria-prima (LEITÃO, 2015).

Ressaltando que a incineração e outras formas de recuperação de energia por um lado são úteis para reduzir a quantidade de resíduos gerados destinados aos aterros sanitários e as emissões de gases do efeito estufa, por outro lado impossibilitam a reciclagem (TISSERANT *et al.*, 2017).

Desta forma, alternativas sustentáveis são necessárias para equilibrar o consumo de materiais naturais, a produção e o desenvolvimento econômico de forma circular. Assim, a pesquisa possibilita simular mudanças na atual gestão de resíduos sólidos urbanos, utilizando a ferramenta de dinâmicas de sistemas e concepções sobre Economia Circular, criando cenários futuros sem o uso de incineradores e com tratamento e aproveitamento principalmente dos resíduos orgânicos.

A simulação possibilita antecipar problemas e ajustar metas e objetivos relacionados a políticas e planejamentos estratégicos a médio e longo prazo, auxiliando na tomada de decisão e promovendo o desenvolvimento das questões sociais, econômicas e ambientais de forma sustentável.

### **3.5 Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**

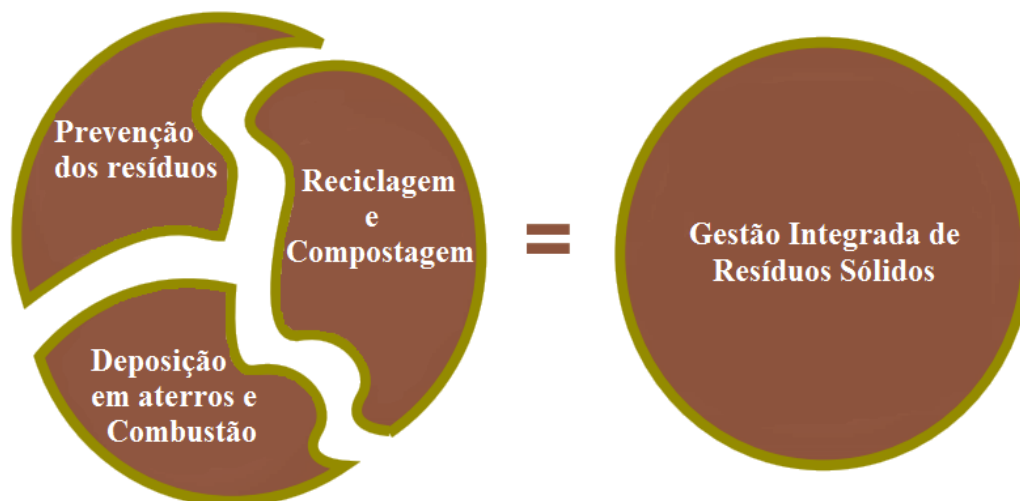
O Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos é um processo complicado que envolve múltiplos critérios ambientais e socioeconômicos, ou seja, diversas variáveis (ambientais, sociais, econômicas). Desta forma os tomadores de decisão procuram estruturas de apoio à decisão que possam orientar definições alternativas, critérios relevantes e seus pesos, à encontrar soluções adequadas (SOLTANI *et al.*, 2015).

Portanto uma gestão de resíduos sólidos urbanos, precisa ser abrangente, atendendo as diversas variáveis, que estão de alguma forma interconectadas, assim a gestão deve ser vista como integrada. Para Zanta e Ferreira (2003), o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos deve ser integrado.

O conceito de gestão integrada de resíduos combina os fluxos de resíduos com a coleta de lixo, os métodos de tratamento e disposição final (THOMAS; MCDUGALL, 2005). Conforme Zanta e Ferreira (2003), os tratamentos reciclagem, compostagem e combustão

seriam interconectados com a prevenção dos resíduos e a disposição em aterros sanitários, interagindo entre si tornando-se um processo só, ou seja, como menciona Mesquita Júnior (2007), envolve o todo, exemplificado na figura 11:

**Figura 11 - Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**



Fonte: Adaptado de USEPA (2002).

De acordo com Mesquita Júnior (2007), a gestão integrada de resíduos sólidos:

Não é simplesmente um projeto, mas um processo, e, como tal, deve ser entendido e conduzido de forma integrada, tendo como pano de fundo e razão dos trabalhos, nesse caso, os resíduos sólidos e suas diversas implicações. Deve definir estratégias, ações e procedimentos que busquem o consumo responsável, a minimização da geração de resíduos e a promoção do trabalho dentro de princípios que orientem para um gerenciamento adequado e sustentável, com a participação dos diversos segmentos da sociedade, de forma articulada (MESQUITA JÚNIOR, 2007, p. 13-14).

Para cada uma das atividades (coleta, transporte, tratamento e disposição final) realizadas dentro do gerenciamento integrado, existe a necessidade de um planejamento cuidadoso, com metas e objetivos alcançáveis, pois estão envolvidas escolhas de curto até longo prazo, além de outros fatores como o institucional, o social, o financeiro, o econômico, o técnico e o ambiental. O governo possui um papel importante no desenvolvimento e aplicação de normas de gestão de resíduos, concessão de financiamento e gestão diária (USEPA, 2002).

O desenvolvimento e a implementação de um gerenciamento integrado exigem também dados detalhados sobre o presente e a antecipação da situação dos resíduos, das estruturas políticas de apoio, do conhecimento e da capacidade de desenvolver

planos/sistemas, do uso adequado de tecnologias ambientalmente saudáveis e instrumentos financeiros adequados para apoiar a sua implementação (UNEP, 2009). Considerando todos esses fatores, questões e passos a serem investigados, a Agência Norte Americana de Proteção Ambiental criou o quadro passo a passo para a elaboração de um gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (quadro 31).

**Quadro 31** - Questões e passos a considerar antes de desenvolver um plano de gerenciamento integrado de resíduos sólidos

Fatores	Questões a considerar	Passos a tomar
Institucional (Leis e processos)	Existem leis e políticas adequadas para permitir que o governo implante uma gestão integrada de resíduos sólidos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabelecer uma política nacional e leis sobre o padrão e prática do gerenciamento de resíduos sólidos;</li> <li>- Identificar papéis e responsabilidades de cada nível de governo;</li> <li>- Garantir um local de governo que tenha autoridade e recursos para implantar um plano de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.</li> </ul>
Social (costumes locais, práticas religiosas e educação)	Que tipos de resíduos a população gera e como geri-los?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encorajar os cidadãos a participarem em todas as fases do planejamento do gerenciamento de resíduos, contribuindo para a conscientização e aceitação da comunidade.</li> </ul>
Financeiro (captação financeira)	Onde obter recursos para a criação de um sistema de gestão de resíduos sólidos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar fontes que podem fornecer financiamento para a gestão de resíduos sólidos, incluindo receitas gerais ou taxas de utilização, como o setor privado, o governo ou agências internacionais.</li> </ul>
Economia (custos e criação de trabalho)	Qual será o custo para implementar várias atividades de gestão de resíduos?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calcular as necessidades de investimento de capital inicial e os custos de manutenção, associados com as várias atividades de gestão de resíduos operacionais e de longo prazo;</li> <li>- Avaliar a condição de o público pagar;</li> <li>- Avaliar atividades baseadas na eficácia no tratamento de resíduos e potencial de criação de emprego.</li> </ul>
Técnico (localização e equipamento)	Onde construir instalações e quais equipamentos utilizar?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incluir fatores geológicos, distância, transporte e projeção de geração de resíduos;</li> <li>- Determinar quais equipamentos e treinamentos serão necessários para as tarefas de gerenciamento.</li> </ul>
Ambiental (recursos naturais e saúde humana)	Como as atividades dentro da gestão irão afetar o ambiente?	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabelecer procedimentos para verificar a proteção do solo e da água.</li> <li>- Fiscalizar o cumprimento das normas nacionais, para garantir que os riscos para a saúde humana sejam minimizados.</li> </ul>

Fonte: USEPA (2002).

Outra definição de gestão integrada de resíduos sólidos pode ser entendida como a seleção e a aplicação de técnicas, tecnologias e programas de gestão adequados que busquem objetivos e metas específicos (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

Técnicas de análise de sistemas têm sido aplicadas para lidar com fluxos de resíduos sólidos, por meio de uma série de metodologias integradoras nas últimas décadas (PIRES;

MARTINHO; CHANG, 2012). A contribuição para o gerenciamento de resíduos sólidos e a descrição dos modelos de engenharia de sistemas pode ser observada no quadro 32.

**Quadro 32** - Tipos de modelos de engenharia de sistemas, definições e contribuição para o gerenciamento de resíduos sólidos

<b>Tipos de modelos de engenharia de sistemas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Contribuição para o gerenciamento de resíduos sólidos</b>
Análise do custo benefício	Avalia os efeitos positivos e negativos, físicos e econômicos de forma independente ou simulação de apoio e modelos de otimização para a análise dos sistemas.	Modelos de e custo benefício bem definidos pode traduzir aspectos ambientais em termos econômicos. No entanto, os efeitos externos geracionais são muito difíceis de tratar.
Modelo de otimização	Alcança a melhor solução entre as inúmeras alternativas, considerando-se um ou vários objetivos.	Pode resolver as seguintes questões: - planejamento de uma rede, - investimentos em diversos períodos, - tamanho e local das instalações, - gerenciar infraestruturas, como o aterro.
Simulação	Traça as longas cadeias de eventos contínuos ou discretos, baseado em causa e efeito. Descreve as relações de operações em sistemas complexos, ajudando a investigar o comportamento dinâmico do sistema.	Desenvolvimento de diversos programas.
Previsão	Caracteriza fluxos de resíduos quantitativa e qualitativamente e constrói um sistema de informações gerenciais que acumula informações para prever a geração de resíduos.	Modelos relacionados com as seguintes variáveis: população, nível de renda, total das despesas de consumo, produto interno bruto, produção, tamanho da família, a estrutura etária, indicadores de saúde, taxas de carga para eliminação de resíduos, valor histórico gerado entre outros.
Sistema integrado de modelagem	Melhora as ligações sinérgicas entre diferentes modelos.	O modelo fornece: - informação dinâmica da geração de resíduos e transporte de resíduos, - padrões de expansão de capacidade ideais para transformação de resíduos em energia, - instalações de aterro ao longo do tempo.

Fonte: Pires, Martinho e Chang (2012).

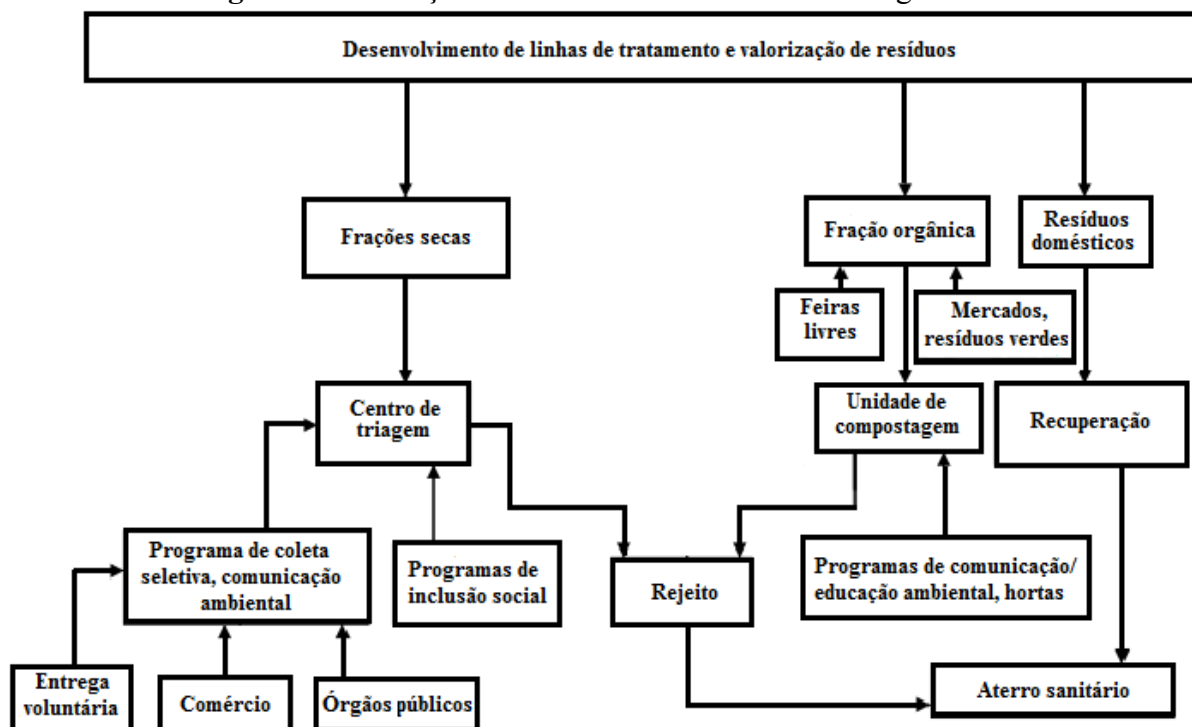
### 3.6 Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos

O presente subcapítulo apresenta alguns modelos básicos integrados de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos – GIRSU. Um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos pode ser compreendido como “um conjunto de referências político – estratégicas, institucionais, legais, financeiras, sociais e ambientais capaz de orientar a organização do setor” (MESQUITA JÚNIOR, 2007, p. 15).

Nunesmaia (2002) apresenta um fluxograma baseado na redução dos resíduos com base nas fontes geradoras, tendo como suporte para a gestão integrada de resíduos os

seguintes pontos: o econômico, o ambiental, o social, a comunicação/educação ambiental e o desenvolvimento de linhas de tratamento/valorização de resíduos (figura 12).

**Figura 12 - Redução de resíduos com base nas fontes geradoras**

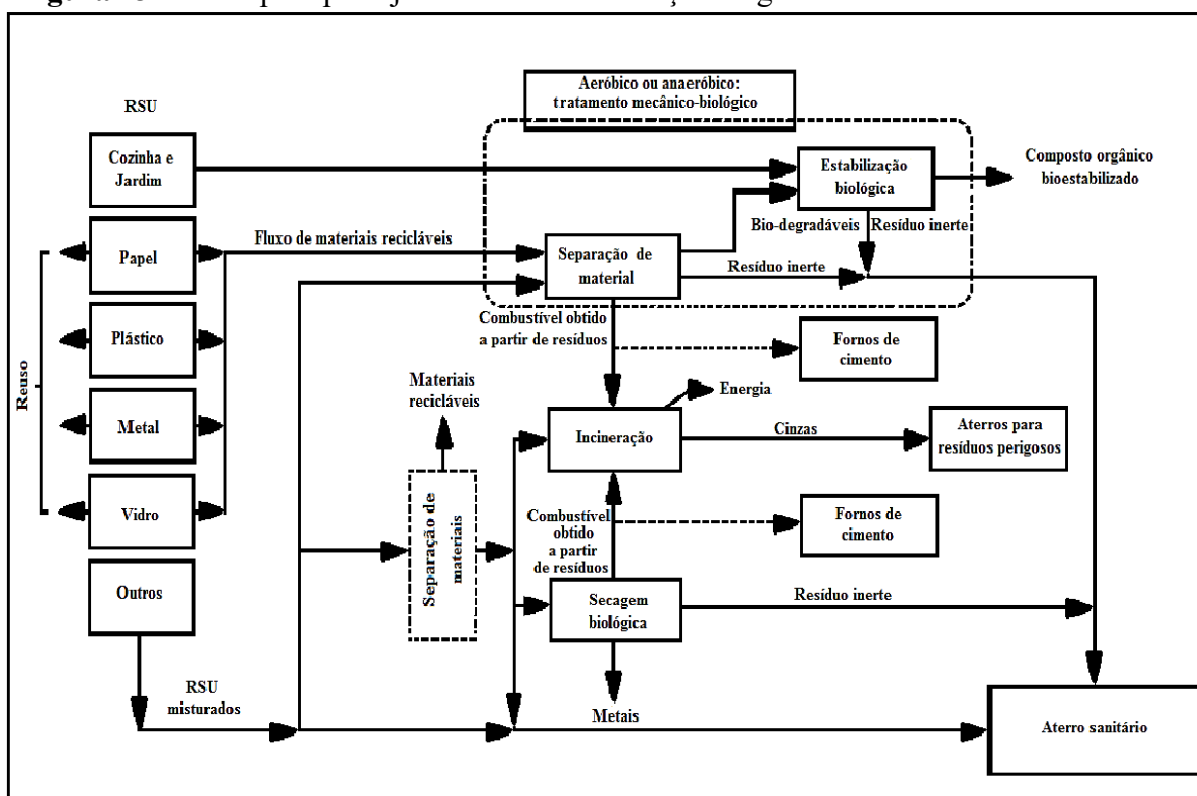


Fonte: Adaptado de Nunesmaia (2002).

Para Economopoulos (2012), as alternativas de gestão podem ser baseadas nas tecnologias de tratamentos presentes na figura 13. Entre as alternativas, destaca-se a separação dos resíduos recicláveis na fonte, sendo reutilizados ou reciclados. Os resíduos sólidos urbanos podem ser tratados anaerobicamente ou aerobicamente pelo tratamento mecânico-biológico obtendo, assim, materiais recicláveis, combustível (energia) e bioestabilizados orgânicos (fertilizantes/adubo), com os resíduos inertes sendo aterrados.

O combustível produzido pode ser utilizado nas instalações de incineração de resíduos ou nos fornos de cimento. A energia gerada pode ser exportada sob a forma de eletricidade e / ou calor para o aquecimento do lugar ou utilização industrial. Os resíduos que contêm substâncias tóxicas devem ser eliminados em instalações apropriadas. Os RSUs misturados também podem ser pré-tratados em instalações de secagem biológica, após a recuperação do material reciclável. Tudo o que não pode ser aproveitado é direcionado para o aterro sanitário.

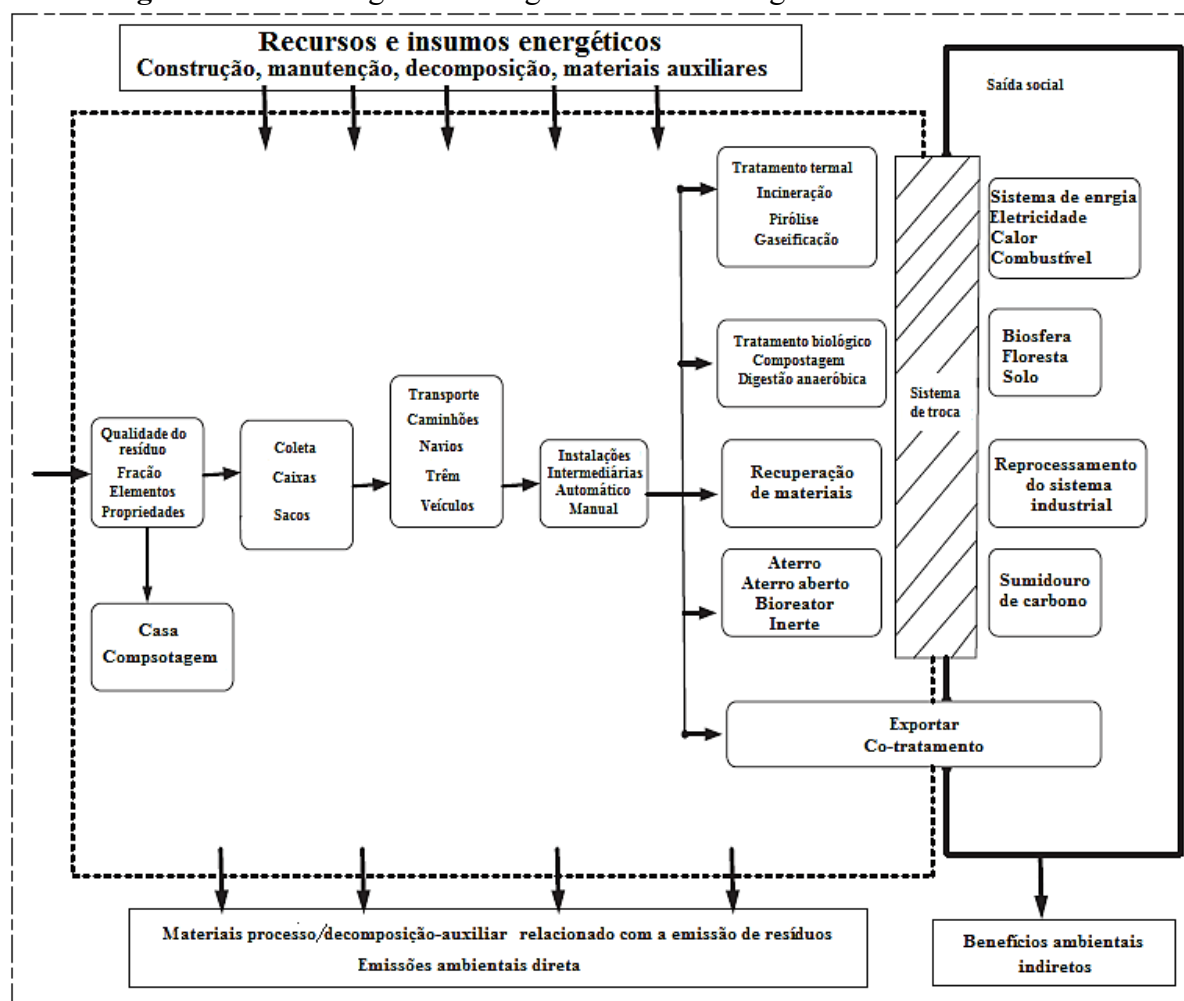
**Figura 13** - Fluxo para planejamento e racionalização da gestão de resíduos sólidos urbanos



Fonte: Adaptado de Economopoulos (2012).

Othman *et al.* (2012) apresenta um modelo genérico, porém atual, utilizado nos países desenvolvidos, com a presença de outras formas de tratamento termal como a gaseificação, a pirólise e incineração, com aproveitamento energético, reciclagem e compostagem (figura 14).

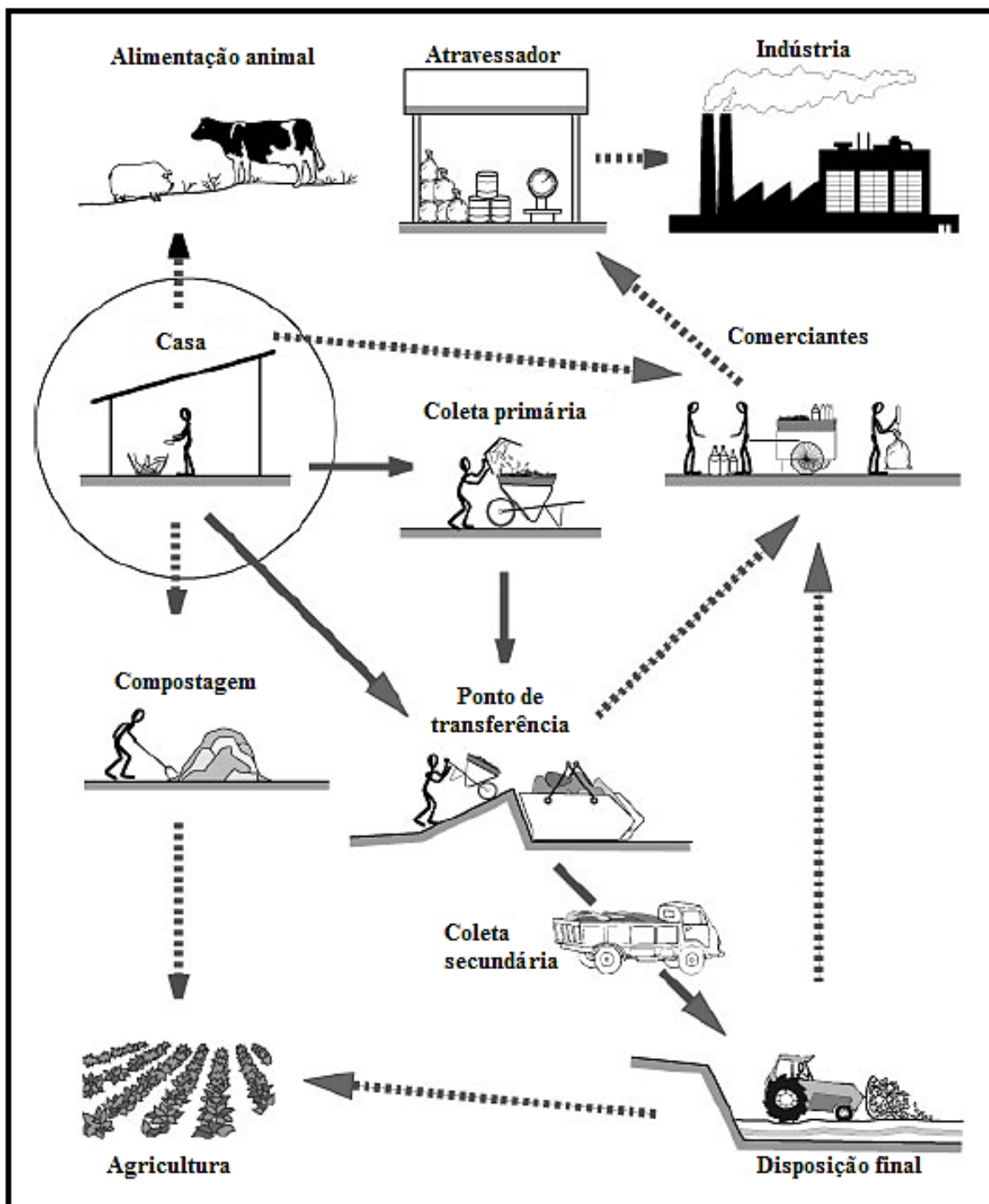
Figura 14- Sistema genérico de gerenciamento integrado de resíduos sólidos



Fonte: Othman *et al.* (2012).

Já Zurbrugg (2003) apresenta os elementos típicos do gerenciamento em países de média e baixa renda (figura 15), com a segregação de resíduos orgânicos e recicláveis nos domicílios. Os resíduos orgânicos são enviados para alimentação animal, compostagem ou deposição em aterros. Os resíduos recicláveis podem ser comercializados e retornando para a indústria ou ser disposto em aterros. Não há a presença de qualquer tipo de tratamento térmico ou aproveitamento energético.

**Figura 15** - Elementos típicos do gerenciamento de resíduos sólidos em países de baixa ou média renda

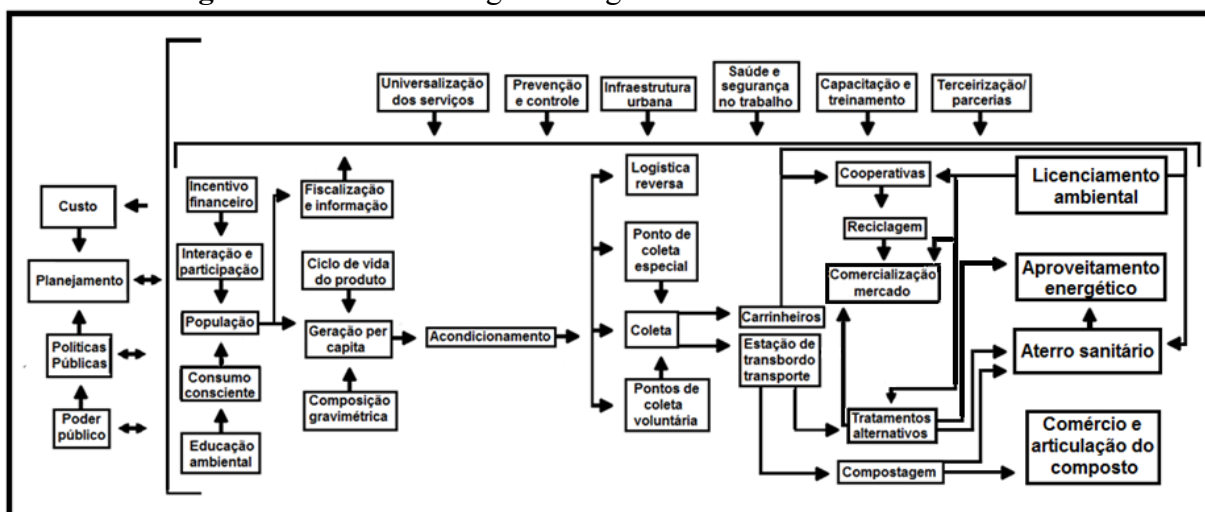


Fonte: Zurbrugg (2003).

A figura 16 apresenta um modelo integrado de gestão de resíduos sólido urbano apresentado por Silva, Fugii e Santoyo (2017), composto por 36 variáveis avaliadas pela opinião de especialistas brasileiros.



**Figura 16 - Modelo Integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos**

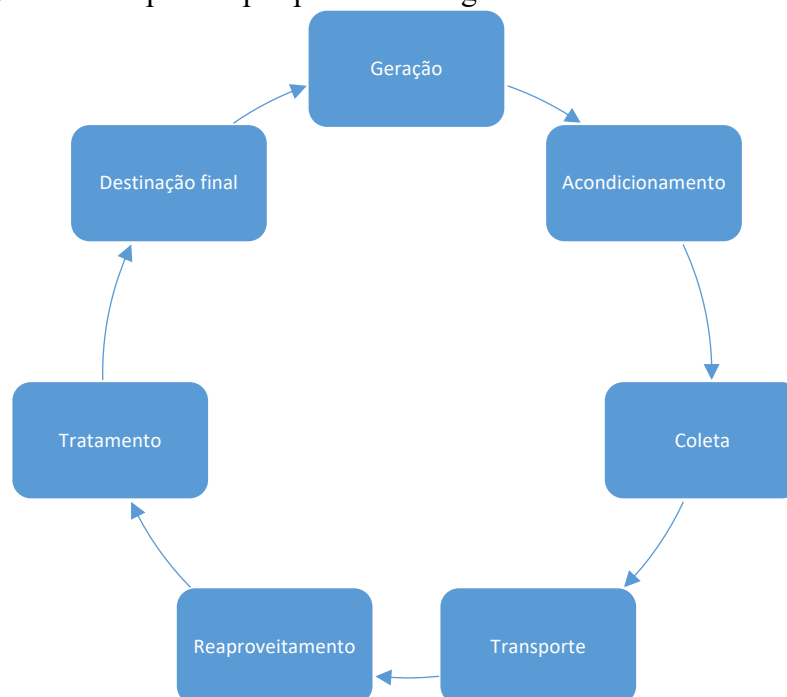


Fonte: Silva, Fugii e Santoyo (2017).

### 3.7 Os elementos que constituem um modelo de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos

O subcapítulo descreve os elementos que a constituem os modelos de GIRSU. De forma resumida, as principais etapas presentes nos modelos de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, podem ser observadas na figura 17.

**Figura 17 - Principais etapas presentes no gerenciamento de resíduos sólidos**



Fonte: Adaptado de Zanta e Ferreira (2003); Brasil (2010a).

A implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos, por si só, não resolve a problemática da geração. Uma das primeiras providências a serem tomadas com relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos é a sua não-geração, seguida pelas demais etapas (SISINNO *et al.*, 2011), as quais são descritas nos subcapítulos a seguir.

### 3.7.1 Geração, acondicionamento e coleta

A etapa de geração de resíduos sólidos envolve a alteração no padrão de consumo da sociedade, promovendo a não geração e conseqüentemente reduzindo os impactos ambientais (OTHMAN *et al.*, 2011, ZANTA; FERREIRA, 2003). Há que se considerar também o incentivo de consumir produtos ambientalmente apropriados ou o compartilhamento de bens (ZANTA; FERREIRA, 2003).

É preciso reduzir a geração de resíduos e uma forma é evitar o desperdício. O Brasil é um importante produtor no cenário mundial, apesar de possuir condições deficitárias na infraestrutura de armazenagem e de escoamento, além de uma baixa difusão de práticas de aproveitamento dos alimentos, o que ocasiona perdas constantes (COSTA, *et al.*, 2014).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação<sup>2</sup>, anualmente 30% de tudo o que é produzido mundialmente é perdido ou desperdiçado, ou seja, cerca de 1,3 bilhão de toneladas de comida vai para o lixo. As fases de produção, armazenamento e transporte correspondem a 54% das perdas e o restante do desperdício (46%) está relacionado aos hábitos dos consumidores e nas vendas.

As mercadorias desperdiçadas constituem nutrientes perdidos, além de gastos e esforços com o cultivo de alimentos que não cumprem com o seu objetivo fim afetando uma parcela da população brasileira (CÂMARA, *et al.*, 2014).

Barnech Campani (2003) apresenta quatro possibilidades de aproveitamento para os produtos que não foram comercializados nas centrais de abastecimento: a) Distribuição gratuita dos alimentos sadios para a alimentação humana; b) Beneficiamento, ou seja, a produção de doces, conservas; c) Alimentação animal; d) Compostagem.

Os bancos de alimentos no Brasil são uma iniciativa pública, não necessariamente estatal e são responsáveis pela segurança alimentar, operando na arrecadação e redistribuição de alimentos que perderam o seu valor comercial, mas que mantêm as propriedades nutritivas (BELIK; DE ALMEIDA CUNHA; COSTA, 2012; COSTA, *et al.*, 2014).

---

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1062706/>

Existe alternativas para o consumo consciente e conseqüentemente a redução do desperdício de alimentos gerados. Uma delas é a comercialização de alimentos que não apresentam riscos alimentares, ou seja, estão aptos para o consumo humano, mas que possuem imperfeições, deformações que acabam impedindo a comercialização destes produtos pelas vias tradicionais. Pensando no descarte dos produtos imperfeitos há empreendimentos que comercializam estes alimentos como é o caso da Fruta Imperfeita<sup>3</sup> em São Paulo e a Fruta Feia<sup>4</sup> em Portugal, os quais evitam o desperdício de toneladas de alimentos que seriam descartados para o lixo.

Hoje há alternativas que reduzem a geração e o desperdício dos grandes geradores, que ocorrem através da articulação com os atores do setor alimentício supermercados, indústrias, feiras e centrais de abastecimentos junto com as iniciativas da sociedade civil (COSTA, *et al.*, 2014).

A gestão do desperdício de alimentos envolve políticas, incluindo a gestão de recursos sustentáveis, mudanças climáticas, energia, biodiversidade, proteção do habitat, agricultura e proteção do solo (SECONDI; PRINCIPATO; LAURETI, 2015).

O acondicionamento significa preparar os resíduos de forma sanitária adequada e compatível com o tipo, qualidade e a quantidade, visando a coleta, levando em conta o local, dia, horários, sendo essencial a colaboração da população, uma vez que garante a qualidade da operação de coleta, transporte e armazenamento (FADE, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2001; ZANTA; FERREIRA, 2003).

O acondicionamento adequado evita acidentes e a proliferação de vetores (insetos e ratos), minimizando o impacto visual e olfativo, reduzindo a heterogeneidade dos resíduos e evitando que animais espalhem os resíduos (FADE, 2012; MONTEIRO *et al.*, 2001).

A coleta é caracterizada pela ação de recolher o resíduo acondicionado por quem o produz, através de um transporte adequado, encaminhando a uma estação de transbordo, a uma instalação de tratamento ou a um aterro sanitário (MONTEIRO *et al.*, 2001). A coleta de RSU atua nas seguintes vertentes: coleta seletiva de matéria orgânica, coleta especializada, coleta indiferenciada, coleta seletiva de materiais recicláveis, centros ou pontos específicos para coleta (PUNA; BAPTISTA, 2008).

A coleta denominada regular ou convencional (resíduos misturados) é realizada, em geral, no sistema de porta em porta ou, ainda, em áreas de difícil acesso, por meio de pontos de coleta, em que são colocados contêineres basculantes ou intercambiáveis. A coleta seletiva

---

<sup>3</sup> <https://frutaimperfeita.com.br>.

<sup>4</sup> <https://frutafeia.pt/pt>.

pode ser realizada de porta em porta com veículos coletores apropriados ou por meio de Postos de Entrega Voluntária (PEVs) dos materiais segregados (ZANTA; FERREIRA, 2003), sendo coletados em dias específicos (FADE, 2012).

### 3.7.2 Segregação, transporte e estação de transbordo

A separação dos resíduos orgânicos dos potencialmente recicláveis na fonte geradora é fundamental para a coleta seletiva, pois evita a perda de qualidade dos recicláveis. Desta forma, melhora as condições de trabalho dos catadores, viabilizando as etapas posteriores da reciclagem (GALBIATI, 2001) como, por exemplo, a recuperação, a revalorização e a transformação (GONÇALVES, 2003).

A segregação exige a adesão da população, o que se observa em países desenvolvidos, em que a comunidade separa os resíduos em recipientes de cores diferentes por categorias como vidro, papel, plástico, metal e orgânicos (GALBIATI, 2001).

O transporte possui diferentes tipos de veículos e deveriam ser selecionados de acordo com o local de geração, se há estação de transferência ou instalações de tratamento, distância da disposição final (UNEP, 2009). Entre os tipos de veículos utilizados estão: os caminhões compactadores, caminhões basculantes, caminhões com carroceria de madeira aberta, veículos utilitários de médio porte, caminhões-baú e carroças (ZANTA; FERREIRA, 2003).

As estações de transferência desempenham importante papel na gestão de resíduos sólidos, devido ao crescimento das cidades e as longas distâncias dos locais de disposição final de resíduos, em relação ao centro urbano (COSTA, 2005), o que se justifica também pelas exigências ambientais e pela resistência da população em aceitar qualquer atividade ligada às etapas dos resíduos sólidos próximo às suas residências (MONTEIRO *et al.*, 2001).

As estações de transferência realizam a troca dos pequenos caminhões carregados com resíduos para os de maior porte, contribuindo com a redução do custo de transporte, aumento da produtividade da coleta por veículos especiais e caros (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Segundo Tchobanoglous *et al.* (1993), a estação de transferência deve ser planejada de forma integrada, com as demais etapas do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos. Pereira, Franco e Castilhos (2013) propõem que a viabilidade de implantação depende de dados que possibilitem a avaliação econômica de redução do custo com o transporte e do gasto com a construção e, conseqüentemente, com a manutenção da estação de transferência.

### 3.7.3 Reciclagem

As principais alternativas para o tratamento de resíduos sólidos são: a reutilização, a recuperação, a reciclagem, a compostagem, incineração e a disposição final no aterro sanitário (ZANTA; FERREIRA, 2003).

A reutilização ou o reuso é o aproveitamento direto dos resíduos como produto, necessitando, por exemplo, no caso de embalagens, que podem ser reaproveitados após procedimentos de limpeza e/ou esterilização (ZANTA; FERREIRA, 2003). Já a recuperação é a extração de certas substâncias, partes, equipamentos dos resíduos, para, por exemplo, reforma ou conserto de móveis ou eletrodomésticos descartados (ZANTA; FERREIRA, 2003) entre outros produtos e utilidades.

Reciclagem é o processo de transformação dos resíduos com o objetivo de inseri-los novamente como matéria-prima na cadeia produtiva (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002; ZANTA; FERREIRA, 2003). São a economia de matérias-primas não renováveis, a economia de energia nos processos produtivos e o aumento da vida útil dos aterros sanitários (MONTEIRO *et al.*, 2001; UNEP, 2002). Além da preservação dos recursos naturais, economia de transporte, geração de emprego e renda e a conscientização da população para as questões ambientais (MONTEIRO *et al.*, 2001).

A reciclagem faz parte de todo o sistema produção – consumo, ou seja, deveria estar presente em todas as etapas de produção de qualquer bem, desde a extração de matérias-primas, operação, fabricação e descarte, sempre possibilitando oportunidades para reciclagem (BEVER, 1978).

### 3.7.4 Reciclagem material seco

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2011), quatro setores industriais (alumínio, plástico, papel e vidro) possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no país. Entretanto, a utilização é limitada, uma vez que nem todos os produtos podem ser produzidos com base no reaproveitamento do material antigo, ou parte dele (SCHLACH *et al.*, 2002).

São pelo menos quatro categorias principais de reciclagem de resíduos informais que podem ser identificadas. Uma das categorias de reciclagem são os compradores de resíduos itinerantes, os catadores de resíduos, os quais vão de porta em porta recolhendo os materiais recicláveis secos dos proprietários ou dos empregados, comprando ou permutando para em

seguida transportarem para um comprador. Outra categoria é a coleta de resíduos na rua, em que matérias primas secundárias são recuperadas com base nos resíduos misturados.

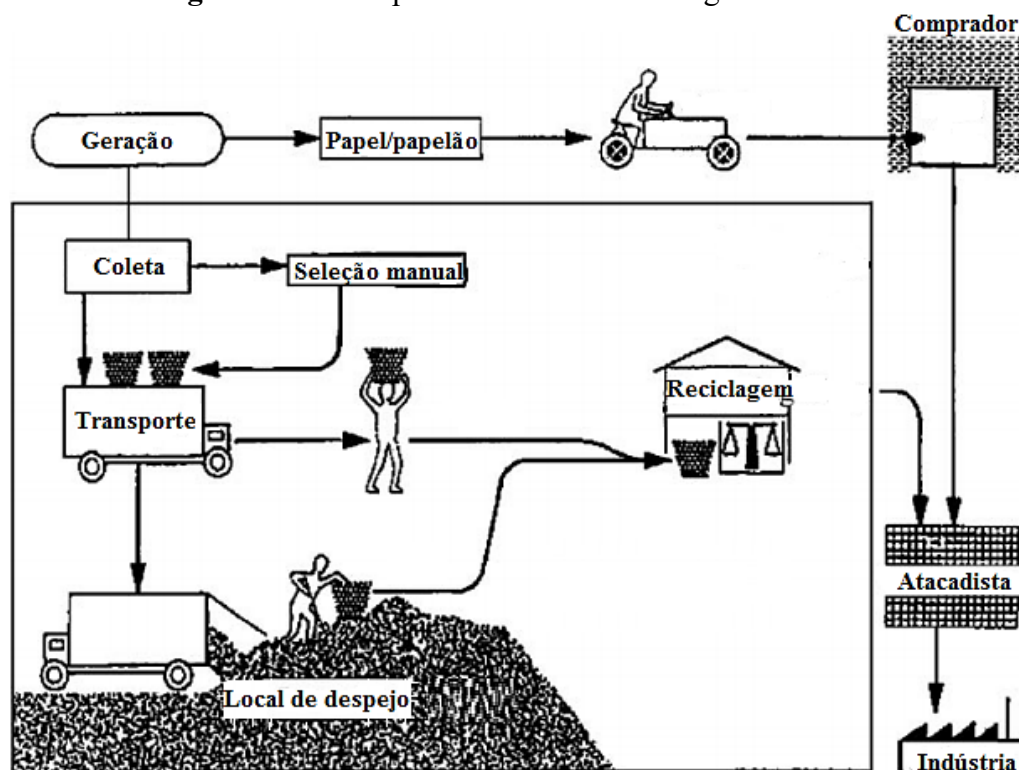
A equipe de coleta de resíduos urbanos é a terceira categoria de reciclagem de matérias primas, em que materiais são recuperados e transportados com o auxílio de veículos para os locais de deposição. A quarta categoria é a coleta de resíduos nos lixões, atividade que de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos será extinta, por meio dos aterros sanitários com acesso restrito.

Os catadores de materiais recicláveis desempenharem um serviço essencial para a sociedade, são considerados o elo mais frágil da cadeia produtiva da reciclagem, pois são marginalizados, possuindo pouco ou nenhum poder de barganha na comercialização dos materiais, sendo, frequentemente, confundidos como pedintes (GALBIATI, 2001).

Os catadores enfrentam diversos perigos e problemas, além de seres serem associados a sujeira, doença, miséria e percebidos como um incômodo, um símbolo de atraso e até como criminosos, assim enfrentando um ambiente hostil físico e social (MEDINA, 2000).

A recuperação de materiais a partir dos resíduos representa uma importante estratégia para os desfavorecidos, vulneráveis e informais presentes nos países em desenvolvimento (MEDINA, 2000). A figura 18 apresenta os fluxos de reciclagem informal.

**Figura 18 - Exemplos de fluxos de reciclagem informal**



Fonte: Adaptado de Wilson *et al.* (2001).

Daí a importância das redes de reciclagem, pois possibilitam diversas ações, como marketing, treinamento, suporte técnico entre outras para o desenvolvimento social e econômico autossustentado das cooperativas/ grupos que trabalham com a reciclagem (TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013). A autogestão e a falta de capital são os grandes desafios para as redes de reciclagem, bem como nivelar tecnicamente as diversas e distintas cooperativas (TIRADO-SOTO; ZAMBERLAN, 2013).

Segundo Monteiro *et al.* (2001), uma usina de reciclagem apresenta três fases de operação: recepção, alimentação e triagem. Na recepção é realizada a aferição do peso ou volume por meio de balança ou cálculo estimativo, com o armazenamento em silos ou depósitos adequados. A alimentação é o carregamento na linha de processamento, por meio de máquinas, tais como pás carregadeiras, pontes rolantes, pólipos e braço hidráulico. A triagem é a dosagem do fluxo de lixo nas linhas de triagem e processos de separação dos recicláveis. Os equipamentos de dosagem de fluxo mais utilizados são as esteiras transportadoras metálicas e os tambores revolvedores.

### 3.7.5 Compostagem

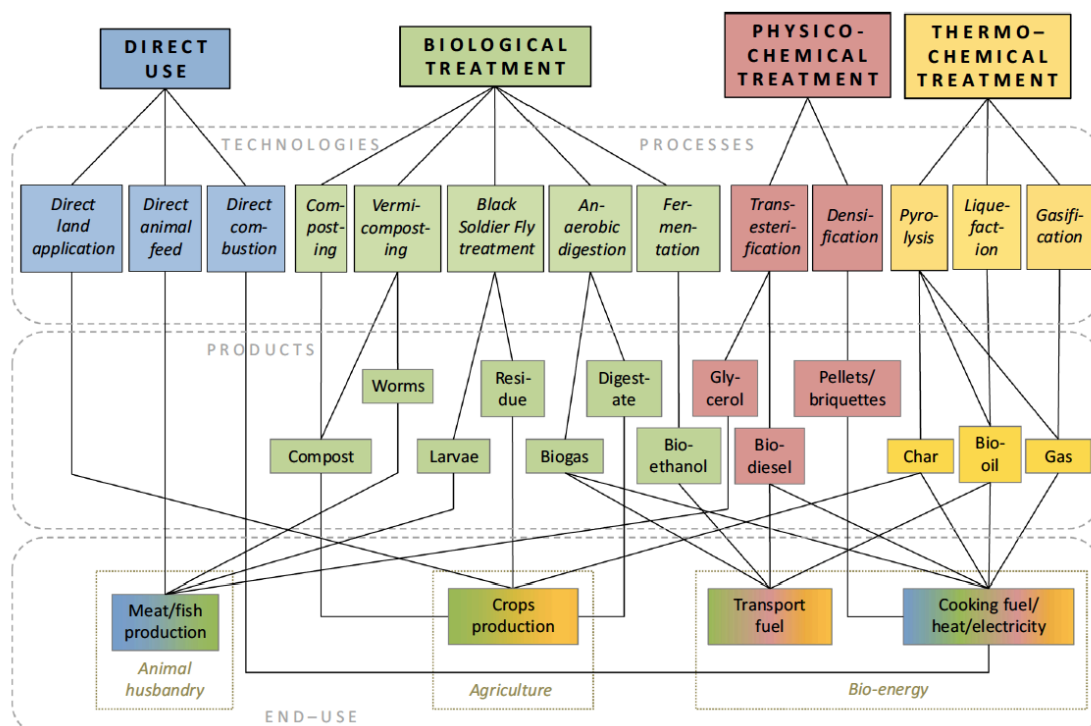
De acordo com Guerrero, Maas e Hogland (2013), a forma como é realizado os serviços relacionados a gestão de resíduos em países em desenvolvimento não possibilita a recuperação dos gastos investidos.

Alguns países adotaram métodos mais sustentáveis (aplicação da compostagem) para a gestão de resíduos e desenvolveram novas legislações para a disposição final de resíduos sólidos envolvendo a valorização materiais (CERDA *et al.*, 2017).

Seguindo a lógica de Economia Circular o não uso de aterros sanitários e de incineradores possibilitaria a recuperação e conseqüentemente a prevenção de impactos ambientais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2015).

Há uma variedade de tecnologias para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos e todas podem converter os resíduos em produtos com maior ou menor valor de mercado, além dos benefícios ecológicos (LOHRI *et al.*, 2017). Lohri *et al.* (2017) distinguem quatro categorias de tecnologias: (1) uso direto, (2) tratamento biológico, (3) tratamento físico-químico e (4) tratamento termoquímico (figura 19).

**Figura 19** - As quatro categorias para o tratamento de resíduos orgânicos



Fonte: Lohri *et al.* (2017).

A primeira categoria é o uso direto e está associado a três aplicações. A primeira aplicação é feita direto no solo, ou seja, os resíduos orgânicos sofrem uma biodegradação aeróbica natural depois de espalhados no campo, a qual mobiliza nutrientes e aumenta o conteúdo de matéria orgânica, mas pode causar deficiência de nitrogênio no solo (LOHRI *et al.*, 2017).

A segunda é a alimentação de animais. Aqui os resíduos orgânicos provenientes de mercados e feiras ainda com boa qualidade são recuperados e destinados para a alimentação animal (LOHRI *et al.*, 2017).

A terceira aplicação é a combustão, também conhecida como a queima de resíduos, ainda utilizada em alguns países para a redução de resíduos e a extração de sucata, não indicado por causa das ameaças ambiental e a saúde (LOHRI *et al.*, 2017).

A segunda categoria é o tratamento biológico, o qual faz a conversão controlada de resíduos através de organismos vivos (LOHRI *et al.*, 2017). São elas: a compostagem, a vermicompostagem, a digestão anaeróbica, larva da mosca soldado negra (é uma tecnologia emergente no tratamento de resíduos orgânicos, gerando proteínas de insetos para alimentação de peixes, galinhas e porcos, além da produção de biodiesel a partir das larvas ou o uso da quitina e do óleo dos insetos) e a fermentação (geração de biocombustíveis) (LOHRI *et al.*, 2017).



A terceira categoria é o tratamento físico químico, que são os processos de conversão\ induzidos por reações químicas ou que aplicam força física, mecânica, ocorrendo por duas formas: transesterificação e densificação (LOHRI *et al.*, 2017).

A transesterificação é uma reação química para obtenção do biodiesel, óleos vegetais ou gorduras animais, já a densificação faz a compactação da biomassa pela aplicação de força mecânica, resultando em briquetes homogêneos ou pelotas com formas, tamanhos consistentes utilizados para aquecimento doméstico, cozinha e combustível industrial (LOHRI *et al.*, 2017).

A quarta categoria é o tratamento termoquímico, caracterizado por aplicar calor para induzir reações químicas como um meio de extrair e criar transportadores de energia como produtos, entre os processos estão: combustão, pirólise, liquefação e gaseificação (LOHRI *et al.*, 2017).

O tratamento termoquímico ainda é pouco aplicado para o tratamento de resíduos urbanos devido aos seus custos (IPCC, 2011) e por isso não abordadas neste trabalho. As três primeiras categorias são descritas posteriormente.

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2012), os resíduos oriundos dos centros urbanos são compostos de 51,4% de resíduos orgânicos, 31,9% de recicláveis e 16,7% de rejeitos. O mesmo instituto aponta que apenas 1,6 dos resíduos orgânicos são devidamente tratados.

Os resíduos orgânicos/úmidos possuem uma rápida degradação, e representam cerca de 50 a 60% dos resíduos destinados ao aterro, logo, tratar estes materiais representa uma redução no volume e o aumento da vida útil do aterro sanitário (MASSUKADO, 2008).

O seu tratamento é essencial para uma gestão eficiente, principalmente em países localizados na América Latina, África e Ásia, os quais possuem baixo grau de coleta seletiva e reciclagem, além de aplicarem o aterramento como principal tecnologia de tratamento (GUIDONI *et al.*, 2017).

A composição dos resíduos alimentares varia conforme a fonte e os hábitos alimentares dos consumidores (CERDA, 2017). Diferentes regiões e até mesmo bairros de uma cidade possuem características socioeconômicas, culturais e geográficas variadas, necessitando condições sanitárias, infraestrutura e gestão heterogêneas (GUIDONI *et al.*, 2017).

Os resíduos orgânicos são compostos por nutrientes, carbono e energia, sendo uma fonte valiosa de moléculas como açúcares, lipídios e proteínas e o seu reaproveitamento

contribui para o uso sustentável de recursos, proteção do meio ambiente e evita as mudanças climáticas (JENSEN; MØLLER; SCHEUTZ, 2016; PEINEMANN; PLEISSNER, 2018).

A matéria orgânica também possui potencial para ser convertida em fertilizantes alternativos, além do benefício de reduzir a biomassa destinada para o aterro e o aproveitamento de nutrientes a baixo custo (CERDA, *et al.*, 2017).

Segundo da Silva (2016), o processo de degradação biológica é algo natural ao meio ambiente, já o processo de compostagem é uma forma de otimizar o procedimento, garantido a velocidade processual e a qualidade do produto final.

A compostagem é um processo realizado por diferentes microrganismos, como por exemplo: bactérias, leveduras e outros fungos, os quais possuem o objetivo de degradar a matéria orgânica (CERDA, *et al.*, 2017).

De acordo com a NBR 13.591/1996, a compostagem é um processo biológico de decomposição dos resíduos orgânicos biodegradáveis, feito por diferentes organismos, em condições controladas de aerobiose e outros parâmetros, ocorrendo em duas etapas: uma de degradação ativa e outra de maturação (ABNT, 1996).

Segundo Kiehl (1985), a compostagem pode ser realizada em leiras, silos, covas feitas no chão ou em reatores. Schalch, Massukado e Bianco (2015) mencionam a existência de 3 metodologias de compostagem, são eles: sistemas fechados ou reatores biológicos, onde os resíduos são colocados dentro de sistemas fechados e controlados; sistemas de leiras revolvidas, com a aeração sendo feita pelo revolvimento dos resíduos e pela convecção e difusão do ar; sistemas de leiras estáticas aeradas, que utiliza uma tubulação perfurada que injeta ou aspira o ar do composto, não existindo revolvimento mecânico das leiras.

O processo de decomposição da fração orgânica gera um produto final estável para manuseio, armazenamento e utilização no solo (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002). A ação permite a reciclagem de uma larga gama de macronutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), de nutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (boro, cloro, cobalto, cobre, ferro, manganês, molibdênio, zinco) (INACIO; MILLER, 2009).

O produto final está apto para o uso porque está livre de microrganismos patogênicos e de sementes viáveis (HAUG, 2018). O composto gerado possui diversas aplicabilidades como: substrato de cultivos, paisagismo, atividades ambientais, gestão de parques públicos e jardins, jardinagem doméstica, áreas verdes recreativas e esportivas, restauração de pedreiras e aterros abandonados (PERGOLA *et al.*, 2018).

De acordo com LIU *et al.* (2009), a combinação de condicionadores orgânicos como fertilizantes minerais é fundamental para desenvolver estratégias de adubações mais

sustentáveis. Com um papel essencial no desenvolvimento de uma agricultura sustentável (PERGOLA *et al.*, 2018).

O Brasil poderia utilizar o produto gerado pela compostagem ou pela digestão anaeróbia, pois é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo (IPEA, 2012b). Porém, deve ser tratada com cautela, pois pode ocorrer contaminação da água e dos solos por pesticidas e resíduos de fertilizantes (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002).

De acordo com Epstein (2011), a compostagem proporciona a redução da quantidade e o volume de resíduos orgânicos destinados aos aterros, eliminação de substâncias patogênicas, sementes indesejáveis e maus odores, reaproveitamento de nutrientes e a geração de um composto de qualidade.

A compostagem possibilita reduções no volume dos resíduos entre 25-50% e as reduções do peso entre 40-80% e são resultantes da perda de carbono, através do CO<sub>2</sub> e da intensa perda de vapor (INACIO; MILLER, 2009). O quadro 33 apresenta as vantagens e desvantagens da compostagem.

**Quadro 33 - Vantagens e desvantagens da compostagem**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Reduz a massa e o volume dos resíduos (até 80% do fluxo de resíduos em países de baixa e média renda é de compostáveis)	Custo de equipamentos
Reduzir o odor	Processo lento o que limita o tratamento de grandes quantidades
Destrói patógenos	Necessita de um mercado para venda do produto
Elimina sementes de ervas daninhas	Duração do processo
Produz um composto com valor de mercado	Perda de nitrogênio na forma de amoníaco
Aumenta a retenção de água no solo	Emissões de odores e bioaerossóis durante o processo
Diminui a quantidade de poluentes emitidos, na medida em que o nitrogênio é incorporado no material, reduzindo a sua emissão para a atmosfera	Processo influenciado pela temperatura ambiente
Contribui para a diminuição da deposição de resíduos em aterro, além do aumento de resíduos reciclados	Possibilidade de existirem patogênicos no produto final
Produz um composto com utilidade nos solos (essencial para uma agricultura sustentável)	Emissão de matéria particulada e de alergênicos
Permite a reciclagem de recursos e o aumento na taxa de recuperação	
Reduz a dependência em fertilizantes	
Melhora a segregação	
Reduz a contaminação dos resíduos secos	
Flexível para a implementação em diferentes níveis, ou seja, desde espaços domésticos até grandes instalações centralizadas	
Pode ser iniciado com pouco capital e custos operacionais	
Possibilita integrar os setores informais envolvidos na recolha, separação e reciclagem de resíduos	

Fonte: Costa (2014); Hoornweg, Thomas e Otten (1999).

Fatores como pH, temperatura, presença de microrganismos, humidade, relação carbono/nitrogênio (C/N) e arejamento do sistema precisam ser controlados para garantir o processo de compostagem. Os parâmetros a sua relevância e os valores médios aconselháveis são descritos no quadro 34.

**Quadro 34 - Fatores que afetam o processo de compostagem**

<b>Fator</b>	<b>Relevância</b>	<b>Valores médios aconselháveis</b>
Temperatura	Indica o equilíbrio biológico e eficiência do processo. Garante higienização	Função da fase do processo. Deve situar-se entre 50-60°C durante 1 semana para eliminação dos organismos patogênicos
Umidade	Garante a atividade dos microrganismos para realizarem a decomposição da matéria orgânica	45-60%
p.H	Garante a atividade dos microrganismos e controla produção de amônia	Deve situar-se entre 6 e 8
Relação carbono/nitrogênio	Garante à população de microrganismos condições nutricionais e metabólicas não limitantes	20:1/ 25:1
Tamanho das partículas	Menor o tamanho significa maior área superficial em contato com os microrganismos, sendo necessário manter níveis adequados de porosidade	Função do material a ser compostado. 13 mm – 15 cm
Arejamento	Afeta atividade microbiana e consequente degradação de matéria orgânica. Permite controlo da distribuição da temperatura	Concentração de oxigênio inferior a 10% implica anaerobiose; Níveis ótimos entre 14-17%

Fonte: Da Silva (2016).

A compostagem pode ser descentralizada ou centralizada. A gestão integrada de resíduos sólidos necessita de uma descentralização, a qual é uma prática recente e precisa ser disseminada para aproximar o cotidiano das pessoas, trabalhando de forma educativa a fim de aprimorar hábitos e conceitos (DEMAJOROVIC; BESEN; RATHSAM, 2006).

As Unidades Descentralizadas de Compostagem (UDC) são alternativas de compostagem descentralizada, as quais são definidas como qualquer instalação física destinada a receber e tratar os resíduos compostáveis da coleta seletiva, sendo localizadas próximo do local onde os resíduos foram gerados (MASSUKADO, 2008).

Além de desviar uma parcela dos resíduos orgânicos gerados do aterro sanitário, as UDCs têm a vantagem de sensibilizar e mobilizar a sociedade porque forçam uma mudança de paradigmas e a criação de tecnologia social (SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Além disso, ela pode ser utilizada como ferramenta para promover saúde pública, saneamento, agricultura urbana e capital social em locais vulneráveis (ABREU, 2013).

Em nível intermediário ou comunitário a compostagem descentralizada oferece aos pequenos grupos a possibilidade de compostar de cinco a 50 toneladas de resíduo orgânico

por dia a um custo relativamente baixo, em terrenos baldios, hortas comunitárias, áreas públicas ou parques (HOORNWEG; THOMAS; OTTEN, 1999). Além destes espaços, o processo poderia ser feito em floriculturas, lojas de jardinagem, prédios, condomínios escolas, propriedades rurais, empresas e indústrias com a proximidade e participação dos moradores (MASSUKADO, 2008; SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Os governos podem apoiar, fornecendo áreas para a instalação, ajudando com os custos iniciais, transportando e descartando rejeitos em aterros e usando o composto final em parques públicos ou na agricultura urbana (HOORNWEG; THOMAS; OTTEN, 1999; SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Outra forma descentralizada de tratamento é a compostagem doméstica sendo útil e simples para tratar a fração orgânica do lixo doméstico (GUIDONI *et al.*, 2017). Este processo possui uma variedade de esquemas de operação, o que significa que não há um procedimento padronizado para compostagem doméstica, o que faz falta para o conhecimento científico neste campo (ANDERSEN *et al.*, 2010).

A compostagem domiciliar é aquela realizada dentro de residências através de minhocários e composteiras utilizando os resíduos gerados pelos próprios moradores e com o composto utilizado localmente, em hortas e jardins (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Ela possui vantagens como a geração de um produto rico em nutrientes para uso no solo, substituindo fertilizantes, além de reduzir a quantidade de resíduos destinados para tratamentos ou aterramento, poupando emissões de gases como metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e monóxido de carbono (CO) relacionadas à coleta transporte, decomposição e transformação dos resíduos (ANDERSEN *et al.*, 2010).

A compostagem domiciliar possui potencial para a gestão sustentável dos resíduos orgânicos provenientes dos domicílios, visto que é uma possibilidade de descentralizar a atual rota dos resíduos orgânicos municipais (VÁZQUEZ; SOTO, 2017). Vázquez e Soto (2017) demonstraram a eficiência da compostagem domiciliar através da pesquisa realizada em uma área rural da região da Galícia na Espanha, onde obtiveram uma taxa de 126kg/pessoa de compostagem, ou seja, uma eficiência de 77%. Reduzindo as quantidades de resíduos para coleta e os custos operacionais (HOORNWEG; THOMAS; OTTEN, 1999).

Lim, Lee e Wu (2016) concluem que o sistema de compostagem ou vermicompostagem possuem baixo custo de investimento em relação aos outros métodos de tratamento, além de serem consideradas limpas, sustentáveis e convertê-los em produtos com valor agregado.

Há trabalhos como os de Amorin *et al.* (2016), da Silva *et al.* (2018) e da Silva *et al.* (2016) que ensinam a construir minhocários e composteiras domésticas e artesanais a um custo baixo.

Desta forma, o tratamento pode contribuir para uma gestão de resíduos mais eficiente, devido a inexistência de um melhor sistema tecnológico de tratamento e coleta de resíduos, bem como um sistema de produção de materiais, mudança de hábitos que induzam à reciclagem e o respeito pelo ambiente (COSTA, 2010).

De acordo com HOORNWEG, THOMAS e OTTEN (1999), a compostagem centralizada é realizada em uma escala maior e pode variar de 10 a mais de 500 toneladas por dia. A gestão centralizada do resíduo orgânico é composta por usinas de triagem e compostagem licenciadas, as quais são empreendimentos de grande escala, privados ou públicos, dotados de uma série de tecnologias (BARREIRA, 2005).

A responsabilidade sobre a gestão centralizada acaba confinada ao Estado ou a uma única empresa (SIQUEIRA; ABREU, 2016). Quando realizada, a compostagem centralizada é feita fora do ambiente urbano, o que dificulta a familiarização da sociedade com a prática, transferindo a responsabilidade pelo tratamento para terceiros, essa distância com comunidade prejudica o acompanhamento e a cobrança por resultados (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

A sua vantagem está relacionada à capacidade de receber e tratar grandes quantidades de RSU em um único empreendimento, porém possuem uma taxa elevada de falência com 82% das experiências fechadas, justificada pelo fato de serem onerosas e gerarem um composto de baixa qualidade (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

A compostagem ainda é pouco utilizada no gerenciamento dos resíduos sólidos municipais e um dos motivos é a dificuldade de se obter materiais segregados na fonte geradora; a presença de materiais indesejados no produto gerado, inclusive a presença de metais pesados; a carência de manutenção do processo; ao preconceito com o produto; a falta de um mercado e uma logística de distribuição e uso do produto gerado; a ausência de investimentos e de tecnologia (MASSUKADO, 2008).

HOORNWEG, THOMAS e OTTEN (1999) mencionam que a compostagem não é mais difundida por vários motivos, como por exemplo: falta de visão e planos de marketing para o produto final; má integração com a comunidade agrícola; práticas contábeis inadequadas que negligenciam que a economia da compostagem depende de externalidades como redução da erosão do solo, contaminação da água, mudanças climáticas e custos de descarte evitados; falta de ação das autoridades em fornecer um coleta segregada adequada.

Para a sustentabilidade do processo e reaproveitamento dos produtos gerados na reciclagem de materiais é necessário desenvolver a entrada (o que envolve a segregação e coleta) dos resíduos na cadeia de transformação, além da preocupação com um mercado e a distribuição das mercadorias (VERGARA; TCHOBANOGLOUS, 2012).

A digestão anaeróbica (DA), também conhecida como biometanização, é um processo bem estabelecido para bioquimicamente decompor a matéria orgânica líquida e sólida através das atividades bacterianas em um ambiente livre de oxigênio (LOHRI *et al.*, 2017).

A DA ao estabilizar a matéria orgânica na ausência de oxigênio gera uma mistura formada principalmente de metano e dióxido de carbono chamado biogás e um resíduo sólido que pode ser transformado em fertilizante (KHALID *et al.*, 2011; MATA-ALVAREZ *et al.*, 2014; ZAMBOM, 2017).

A biodegradação anaeróbica da matéria orgânica em metano e gás carbônico consiste em uma série de processos microbianos: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (LOHRI *et al.*, 2017). As etapas fazem uma complementação na degradação dos resíduos, ou seja, cada etapa dará continuidade no processo de transformação. Este processo é apresentado no quadro 35.

**Quadro 35 - Processos microbianos na digestão anaeróbica**

Processo	Ação
Hidrólise	Processo enzimático que converte materiais particulados complexos em substâncias dissolvidas, ou seja, transformam polímeros, como amido e proteínas, em monômeros, como açúcares e aminoácidos.
Acidogênese	Bactérias metabolizam substâncias da etapa anterior gerando os seguintes produtos: ácidos graxos voláteis como ácido butírico e ácido propiônico.
Acetogênese	Metabolização das substâncias em: ácido acético, gás carbônico e hidrogênio gasoso
Metanogênese	Formação de metano e gás carbônico pelas bactérias metanogênicas acetoclásticas; e o gás carbônico e o hidrogênio são combinados, formando metano, pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas

Fonte: Balmant (2009); Lima (2006).

De acordo com Jensen, Møller e Scheutz (2016), a digestão anaeróbica com produção de biogás é a melhor opção ambiental contra o aquecimento global e a formação de ozônio químico, comparado com a incineração e a disposição final em aterro sanitário. Apesar da digestão ser uma tecnologia promissora ela necessita ser mais eficaz (LEE *et al.*, 2009).

Khalid *et al.* (2011) afirmam que esta tecnologia é um dos processos biológicos mais eficazes para tratar os resíduos sólidos orgânicos e lodo e justificados: (I) resíduos orgânicos com baixo teor de nutrientes podem ser degradados por co-digestão com diferentes substratos nos biorreatores anaeróbios, (II) o processo simultaneamente leva à produção de baixo custo do biogás, (III) produção de energia renovável, (iv) prevenção da liberação de gases

causadores do efeito estufa e (v) fertilizantes. O quadro 36 apresenta as vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia.

**Quadro 36 - Vantagens e desvantagens da digestão anaeróbia**

Vantagens	Desvantagens
Pequeno espaço físico	Pós-tratamento
Aumento da vida útil dos aterros sanitários	Os resíduos pode variar dependendo da localização e da estação do ano
Baixos custos de construção (Realidade portuguesa)	Possível geração de efluentes com aspeto desagradável.
Produção de metano	
Tolerância a altas cargas orgânicas	
Aplicação em pequena e grande escala	
Fração orgânica dos RSU é retirada, contribuindo para uma diminuição de odores desagradáveis nos aterros e de lixiviados	
Produção de produtos valorizáveis como o biogás e o composto	

Fonte: Da Silva (2016).

O quadro 37 apresenta os fatores que afetam o processo de digestão anaeróbia.

**Quadro 37 - Parâmetros que afetam o processo de digestão anaeróbia**

Fator	Relevância	Valores médios aconselháveis
Oxigênio	A maioria das bactérias acidificantes são anaeróbias facultativas. Embora as bactérias metanogênicas sejam anaeróbias obrigatórias, normalmente coexistem com as bactérias acidificantes, consumindo oxigênio e não apresentando, qualquer sinal de inibição.	<0,01 mg /L O <sub>2</sub>
Ácidos graxos voláteis (AGV)	A inibição é influenciada e amplificada pela queda do pH – os valores apresentados na coluna seguinte são válidos para pH inferior a 7 – uma vez que altera o balanço de AGV dissociados e não dissociados aumentando a concentração dos últimos que são os que possuem a capacidade de implicar distúrbios metabólicos uma vez que podem ser capazes de penetrar na membrana celular das bactérias baixando o seu pH interno o que acarreta um decréscimo da velocidade metabólica ou até a morte celular.	Ácido acético <1000 mg/L Ácido butírico / Ácido valérico <50 mg/L Ácido propiónico <5mg/L
Amônia(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>3</sub> )	Da degradação anaeróbia de compostos de nitrogênio resulta a formação de amônia e amoníaco. A inibição pelo ión livre de amônia é amplificada pelo aumento do pH uma vez que a relação amoníaco : amônia passa de 99:1 (pH=7) para 70:30 (pH=9). O amoníaco além de inibidor pode ser tóxico caso as concentrações o permitam, por outro lado, o ión amônia, pode provocar inibição através da remoção de potássio necessário aos microrganismos metanogênicos. Ainda assim, para concentrações reduzidas o amoníaco pode servir de nutriente para o crescimento bacteriano.	Amônia <1500 mg/L; Amoníaco <80 mg/L
Ácido sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	Pequenas variações de pH situado na gama entre 6-8 poderão resultar em flutuações importantes na concentração de H <sub>2</sub> S livre. A presença deste composto afeta o processo de duas formas distintas: Na quantidade – por inibição da atividade microbiana - e na qualidade do metano produzido – a sua presença exige tratamento prévio à sua utilização.	<100-800mg/L, se dissolvido <50-400mg/L, se não dissociado

Fonte Da Silva (2016).



A co-digestão anaeróbica é a DA simultânea de dois ou mais substratos, sendo uma opção promissora para a viabilidade econômica das plantas de digestão anaeróbica devido à maior produção de metano e de biogás, tornando-se uma fonte viável de energia renovável (HAGOS *et al.*, 2017). A co-digestão anaeróbica tem sido implementada no setor rural devido à necessidade de tratar os dejetos e na geração de biogás (MATA-ALVAREZ *et al.*, 2014).

Há um tratamento que une diferentes formas de lidar com os resíduos sólidos urbanos em uma única planta. O Tratamento Mecânico Biológico (TMB) é um processo de tratamento de resíduos indiferenciados, ou seja, aqueles que não foram previamente separados nos domicílios, contribuindo para a redução dos resíduos destinados para o aterro sanitário e aumentando a reciclagem de materiais (COSTA, 2010).

O processo não possui uma única tecnologia, possibilitando diversas combinações tecnológicas (COSTA, 2010). O processo básico é realizado em duas fases, a primeira é a mecânica, a qual separa e recupera alguns materiais para a reciclagem e a segunda é a biológica que está relacionada a estabilização da fração orgânica (COSTA, 2010; LIMA, 2014). O quadro 38 apresenta e descreve as tecnologias destas fases.

Algumas vantagens do método são: recuperação de materiais, geração de composto/fertilizante, produção de biogás e energia, redução do volume de resíduos e de água destinados ao aterro e a redução na geração de gases causadores do efeito estufa (COSTA, 2010).

**Quadro 38** - Tecnologias utilizadas no Tratamento Mecânico Biológico

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>
Triagem Manual	Separação realizada manualmente, através da catação. É um processo que retira principalmente objetos volumosos e vidros.
Abre-sacos	São tecnologias para a abertura dos sacos, a qual pode ser realizada por meio de corte, rasgo ou compressão.
Crivo rotativo/ Trommel	Esta tecnologia possibilita a separação dos materiais de diferentes dimensões, funcionando como uma espécie de peneira.
Separador balístico	Separa os materiais por frações: materiais rolantes, planos e finos. A tecnologia é formada por uma série de chapas perfuradas inclinadamente e paralelas. A fração fina cai pelo orifício da chapa, a fração rolante é conduzido para a parte inferior por efeito da gravidade e os materiais pesados deslocam-se para a parte superior devido ao movimento das placas.
Corrente de Foucault	Corrente por indução eletromagnética, a qual separa materiais não-ferrosos, como o alumínio do resto dos resíduos.
Separador magnético	Neste processo há um eletroímã que atrai os elementos ferrosos que circulam nas esteiras.
Separadores Óticos	A separação é realizada conforme o tipo, a forma e a cor de cada material. Quando o material desejado é reconhecido, um jato de ar é disparado efetuando a separação do objeto.
Sistema de Aspiração	O objetivo deste processo é a aspiração de filme plástico, deixando o processo mais eficaz na separação do resto dos materiais.
Compostagem	Transformação e estabilização da fração orgânica de forma aeróbica.

Continua

		Conclusão
<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	
Digestão Anaeróbia ou Biometanização	Processo de mineralização da matéria orgânica em condições anaeróbias em um sistema fechado, através de diversos microrganismos que interagem entre si, convertendo a matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia. Gerando o biogás e um composto/ adubo.	

Fonte: Adaptado de Lima (2014).

Ressaltando que os nutrientes obtidos pelo Tratamento Mecânico e Biológico não podem ser utilizados em alguns países na agricultura, ou seja, é essencial a segregação dos materiais nos domicílios (STRETTON-MAYCOCK; MERRINGTON, 2009).

O quadro 39 apresenta as vantagens e desvantagens do TMB.

### **Quadro 39 - Vantagens e desvantagens do Tratamento Mecânico Biológico**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Tratamento adequado para grandes volumes de resíduos	Custos operacionais elevados
Embalagens são encaminhados para reciclagem	Volume significativo de resíduo estabilizado pode exigir o envio para aterro
Fonte de recuperação de metais para reciclagem	Poderá ocorrer odores desagradáveis no aterro caso os resíduos não fiquem totalmente estabilizados. Para além disso, poderá decorrer emissões de metano;
Encaminhamento dos rejeitados para CDR e valorização energética	Poderá ocorrer um aumento de ruído derivado do transporte e descarga de resíduos
Diminuição da deposição dos resíduos em aterro sanitário	Emissões de efluentes líquidos provenientes do tratamento biológico e lixiviados do aterro
Redução do lixiviado devido a uma maior densidade do composto produzido	Caso as medidas de prevenção e tratamento de emissões atmosféricas e líquidas não forem tomadas, este tratamento poderá provocar problemas na saúde pública
Aproveitamento do biogás contribuindo para a produção de eletricidade	
Criação de postos de trabalho	
Tecnologia fiável e menor risco econômico	

Fonte: Lima (2014).

Outra forma de tratamento biológico com aproveitamento energético é o aterro sanitário, o qual consiste na compactação dos resíduos no solo por meio de camadas periodicamente cobertas com terra ou outro material inerte, de modo a produzir uma degradação natural e lenta, até a mineralização da matéria biodegradável (FEMA, 2012).

A aterragem sanitária ainda é um método amplamente utilizada no mundo (CHATTERJEE, MAZUMDER, 2016; GIUDICIANNI *et al.*, 2015). Sendo a estratégia de gestão preferida nos países em desenvolvimento, devido à sua simples aplicação, custo-eficácia, acomodação de grandes quantidades e tipos de resíduos (SENG *et al.*, 2013). Porém, pela atual PNRS esta alternativa tecnológica só deveria ser realizada para os rejeitos oriundos dos tratamentos pós-consumo (BRASIL, 2010). Justificado pela perda de materiais,

disponibilidade de grandes áreas, contaminação por chorume, emissões de dióxido de carbono e crescimento de organismos patogênicos (GIUDICIANNI *et al.*, 2015).

Segundo Monteiro *et al.* (2001), o aterro sanitário segue normas operacionais específicas, evitando danos ao meio ambiente, à saúde e à segurança pública, utilizando os princípios de engenharia, para submeter os resíduos sólidos à menor área plausível, reduzindo-os ao menor volume possível.

A operação de um aterro é precedida pelo processo de seleção de áreas, licenciamento, projeto executivo e implantação. Deve conter necessariamente duas unidades: a operacional e de apoio. A unidade operacional conta com células de lixo domiciliar, células de lixo hospitalar, impermeabilização de fundo (obrigatória) e superior (opcional), sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados (chorume), sistema de coleta e queima (ou beneficiamento) do biogás, sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais, pátio de estocagem de materiais, sistemas de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico (MONTEIRO *et al.*, 2001).

Já as unidades de apoio são compostas por cerca e barreira vegetal, estradas de acesso e de serviço, guarita de entrada e prédio administrativo, oficina, borracharia, balança rodoviária e sistema de controle de resíduos (MONTEIRO *et al.*, 2001).

O biogás gerado pelos aterros pode ser aproveitado em projetos que visam à recompensa financeira com a comercialização de créditos de carbono em mercados voluntários ou Reduções Certificadas de Emissão do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, conforme previsto no Protocolo de Quioto (FEMA, 2012).

A coleta do biogás em aterros sanitários possibilita o aproveitamento energético e requer o prévio planejamento da instalação dos equipamentos destinados a esse fim, permitindo ao operador do sistema o monitoramento e ajuste do fluxo de gás (FEMA, 2012).

Outra forma de tratar os resíduos sólidos urbanos é por meio do tratamento térmico, caracterizado por utilizar o calor como forma de recuperar, separar ou neutralizar determinadas substâncias presentes nos resíduos, possibilitando a redução da massa e volume, além da produção de energia térmica, elétrica ou mecânica (FEMA, 2012). Estas correspondem a praticamente quatro técnicas: gaseificação, pirólise, incineração e o plasma.

Marchezetti, Kaviski e Braga (2011) abordam as vantagens e desvantagens das principais alternativas citadas anteriormente, resumindo assim as principais formas de tratar os resíduos encontrados na literatura (Quadro 40).

**Quadro 40** - Vantagens e desvantagens das tecnologias para o tratamento de resíduos sólidos domiciliares

<b>Tecnologias</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Gaseificação	O gás gerado pode ser convertido em energia; pode diminuir a dependência de combustíveis fósseis; eliminação de patógenos; emite baixa concentração de particulados; o combustível resultante é limpo; aumenta a produção de hidrogênio e de monóxido de carbono; e diminui a produção de dióxido de carbono	Tecnologia pouco difundida; baixo rendimento de energia se houver muita umidade no resíduo domiciliar; de operação mais difícil do que a queima direta; deve ser tomado cuidado com o vazamento de gases tóxicos
Pirólise	Obtenção de energia de fácil transporte e armazenamento em relação à incineração; baixa emissão de particulados; não produz dioxinas e furanos; eliminação de patógenos	Não há um desenvolvimento industrial significativo, pois, os resíduos acabam sendo incinerados indiretamente
Incineração	Produção de gás de síntese; redução drástica do volume e da massa do resíduo; redução do impacto ambiental; recuperação e geração de energia; eliminação de patógenos; cinzas podem ser reclassificadas como não perigosas; as usinas termelétricas híbridas (UTH) minimizam a emissão dos gases de efeito estufa; os incineradores atuais estão insertos no conceito de recuperação de recursos	Elevado custo de investimento, de manutenção, de operação e monitoramento; requer mão-de-obra especializada; pode necessitar de combustível auxiliar; o sistema pode gerar produtos tão ou mais perigosos quanto o próprio resíduo, quando mal operado
Plasma	Não geração de dioxinas e furanos; produção de gás de síntese, mais uniforme do que o gás gerado pela incineração; redução do volume de resíduos em proporção superior a 99%; eliminação de patógenos	Alto investimento na implantação, operação e manutenção; gases gerados após a combustão são tão poluentes quanto os gerados na incineração; sistema de lavagem de gases sofisticado; não há nenhuma garantia da não emissão de dioxinas e furanos, apesar da alta temperatura de operação do sistema
Compostagem	Valorização dos resíduos; meio econômico para recuperar recursos; quando aplicado no solo, o composto pode melhorar sua estrutura; em função da temperatura de operação, pode eliminar patógenos; permite a reciclagem da matéria orgânica	Grandes áreas para a implantação em grande escala; pode liberar odores; qualidade do composto varia em função do tipo de resíduo; comercialização limitada; tamanho das partículas pode diminuir a eficiência do processo e a qualidade de composto, mistura inadequada pode afetar a eficiência do processo; dependência da reciclagem para melhorar a qualidade do composto produzido
Reciclagem	Valorização dos resíduos; minimização da utilização de fontes naturais, utilização mais racional dos recursos naturais; geração de emprego e renda; componente importante do processo de logística reversa	A coleta seletiva pode ser pouco eficiente; os materiais recicláveis podem ser contaminados, diminuindo seu valor comercial de venda; baixa demanda para compra de recicláveis; ausência de infraestrutura e incentivos públicos

Continua

		Conclusão
<b>Tecnologias</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Digestão Anaeróbia	Valorização dos resíduos; possibilidade de produção de elevadas quantidades de energia; permite a reciclagem da matéria orgânica e o aproveitamento energético; pode eliminar patógenos	Variação na composição gravimétrica dos resíduos acarretará ineficiência do processo; em sistemas contínuos pode ocorrer obstruções da canalização por grandes pedaços; mistura inadequada dos resíduos e do lodo de esgoto, utilizado como inoculo, pode afetar a eficiência do processo; associada à geração de maus odores; pode gerar resíduos líquidos que necessitarão de tratamento

Fonte: Marchezetti, Kaviski e Braga (2011).

O quadro 40 apresenta as principais tecnologias utilizadas no tratamento de resíduos sólidos domiciliares, entre eles o trabalho foca na reciclagem, compostagem e digestão anaeróbia.

O próximo capítulo abordará a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa.

## 4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia e os procedimentos adotados para a realização deste trabalho. Divide-se em quatro partes: abordagem metodológica, bibliometria, planejamento e operacionalização da pesquisa.

### 4.1 Abordagem metodológica

Com base nos critérios de classificação de pesquisas propostos por Gil (2010), a área de conhecimento desta pesquisa, segundo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), é multidisciplinar englobando principalmente as áreas de conhecimento relacionados a economia, a administração, a matemática, a informática, a biologia, a filosofia, a sociologia e ao campo de ciência, tecnologia e sociedade.

A pesquisa é de natureza aplicada, pois busca soluções concretas para problemas de fins práticos e reais (CERVO; BERVIAN, 2002). Com relação aos objetivos, é uma pesquisa exploratória, porque proporciona uma maior familiaridade com um problema por meio do levantamento bibliográfico; é também descritiva, pois tem como propósito descrever as características do fenômeno e estabelecer relações entre variáveis que compõe a cadeia de resíduos sólido urbanos. Estudos exploratório-descritivos combinados têm por objetivo descrever completamente determinado fenômeno (MARCONI; LAKATOS, 2003).

A pesquisa também é explicativa porque visa identificar de forma profunda o conhecimento da realidade, através de fatores que contribuem ou determinam a ocorrência de acontecimentos (GIL, 2010).

Do ponto de vista da abordagem, o trabalho é predominantemente qualitativa. O procedimento técnico utilizado em um primeiro momento foi a pesquisa bibliográfica elaborada com base em livros, artigos, manuais, dissertações e teses. Pesquisa bibliográfica também contou com uma análise bibliométrica, por meio das palavras-chave que delimitam a pesquisa. Além da pesquisa bibliográfica foi efetuada a pesquisa documental através da busca de documentos oriundos dos diversos órgãos do governo, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério das Cidades, o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), além de Decretos e Leis.

Foram utilizadas também as pesquisas realizadas pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, todos estes procedimentos serviram de

base para a fundamentação da pesquisa e levantamento de dados para a construção de um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares para o caso de Curitiba. Modelo que segue a metodologia de Dinâmica de Sistemas e as concepções da Economia Circular.

## 4.2 Bibliometria

O presente capítulo apresenta uma introdução à bibliométrica, além dos procedimentos metodológicos e análise da pesquisa.

Otlet (1986) menciona a época as ciências do livro, mas atualmente, há outros meios de informação que também devem encaminhar-se para a introdução da medida em suas investigações. Como por exemplo: artigos, dissertações, teses e manuais que estão disponíveis em banco de dados e bibliotecas virtuais. Na medida em que a informação é objeto de psicologia, sociologia, tecnologia, entre outras áreas, seus fenômenos são suscetíveis de mensuração (OTLET, 1986), possibilitando análises dos materiais utilizados.

Com a mudança e evolução dos sistemas de informações, evidenciou-se a utilização de base de dados (sistemas de indexação de periódicos, teses, livro, relatórios, anais de eventos, entre outros) com o objetivo de facilitar as buscas de referências bibliográficas (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

De acordo com Araújo (2006), os estudos bibliométricos proliferaram na década de 1970 no Brasil. Principalmente pelas pesquisas realizadas pelo Instituto Brasileiro de Bibliografia e Documentação – IBBD, hoje denominado Instituto Brasileiro de Informação Científica e Tecnológica, IBICT (ARAÚJO, 2006).

A década de 1980 apresentou uma queda no interesse pela bibliometria, em nível mundial. Porém, foi no início dos anos 1990, sobretudo pelas possibilidades do uso do computador, abriu-se espaço para a exploração de metodologias quantitativas (ARAÚJO, 2006). Isto possibilitou o desenvolvimento de novas técnicas e tecnologias afim de lidar com a diversidade de fontes de dados e grandes quantidades de trabalhos, o que ficou mais acessível pelo sistema global de computadores interligados – Internet.

A bibliometria é uma “técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico” (ARAÚJO, 2006, p. 12).

Ruthes e Silva (2015) mencionam que a técnica contribui para identificação dos avanços científicos, através do levantamento do status do conhecimento realizado e publicado pela academia, possibilitando definir a relevância e o ineditismo de uma pesquisa. Coloca em

evidência as lacunas em determinadas áreas do conhecimento e o que podem ser exploradas (RUTHES; SILVA, 2015).

Araújo (2006) cita que uma das possibilidades da bibliometria é a análise de citações, ela permite a identificação e descrição de uma série de padrões na produção do conhecimento científico. Com por exemplo, os dados retirados das citações, autores mais utilizados, fator de impacto dos autores, sua produtividade, procedência geográfica e/ou institucional, obsolescência da literatura, periódicos mais citados, entre outros (ARAÚJO, 2006).

Para da Silva, Hayashi e Hayashi (2011), o princípio da técnica é analisar a atividade científica pelos estudos quantitativos das publicações. Desta forma, compreende-se um método flexível para avaliar a quantidade, a tipologia e a qualidade das fontes de informação citadas nas pesquisas, além da realização do estado da arte de suas pesquisas (DA SILVA; HAYASHI; HAYASHI, 2011).

Ela tornou-se nas últimas décadas uma ferramenta padrão da política científica e gestão de pesquisa (GLÄNZEL, 2003). É um campo interdisciplinar, estendendo para quase todos os domínios científicos e compreendendo componentes da matemática, ciências sociais, ciências naturais, engenharia e ciências da vida (GLÄNZEL, 2003).

Para Naseer e Mahmood (2009), a bibliometria possui dois tipos de estudos, os descritivos e os avaliativos. Os estudos descritivos compreendem a produtividade alcançada pela contagem de periódicos, livros e outros formatos de comunicação, já os estudos avaliativos estão relacionados ao uso da literatura por meio da contagem de referências e citações em trabalhos de pesquisa (NASEER; MAHMOOD, 2009).

A análise bibliométrica é baseada em informações relevantes sobre publicações científicas que podem ser recuperadas a partir das bases de dados (GLÄNZEL, 2003). O quadro 41, apresenta as informações mais importantes utilizados na técnica.

**Quadro 41 - Relação das informações mais importantes na bibliometria**

<b>Informações Relevantes</b>	<b>Descrição</b>
1	Identificação da fonte
2	Nome dos autores
3	Endereços Corporativos
4	Referências
5	Tipo de documento
6	Título, palavras-chave
7	Reconhecimento

Fonte: Glänzel (2003).

De acordo com Karlsson (2008), a análise de literatura possibilita:



- a- O respaldo científico, ao se basear nas publicações;
- b- A justificação da escolha do tema e sua contribuição;
- c- Justificativa pelo enquadramento teórico;
- d- A delimitação do escopo da pesquisa;
- e- O desenvolvimento de habilidades de análise crítica da literatura e tratamento das informações.

De acordo com Glänzel (2003), na atualidade a pesquisa bibliométrica visa três principais grupos-alvo, o que determina claramente tópicos e subáreas da "bibliometria contemporâneas" (quadro 42).

**Quadro 42** - Descrição dos grupos-alvo da pesquisa bibliométrica

<b>Grupo-alvo</b>	<b>Descrição</b>
Bibliometria para bibliometristas (Metodologia)	É o domínio da pesquisa bibliométrica básica, ou seja, a pesquisa metodológica é conduzida principalmente neste domínio.
Bibliometria para disciplinas científicas (Informação Científica)	Os pesquisadores em disciplinas científicas formam o maior grupo de interesse em bibliometria. Devido à sua orientação científica primário, seus interesses estão fortemente relacionados com a sua especialidade. Este domínio pode ser considerado uma extensão da ciência da informação por meio de métricas. Aqui também encontramos <u>fronteira conjunta com pesquisa quantitativa na recuperação da informação.</u>
Bibliometria para a política de ciência e de gestão (política científica)	É o domínio da avaliação da investigação, atualmente o tópico mais importante no campo. Aqui, as estruturas nacionais, regionais e institucionais da ciência e da sua apresentação comparativa estão em primeiro plano.

Fonte: Glänzel (2003).

De acordo com da Silva, Hayashi e Hayashi (2011), por mais que exista na literatura trabalhos que destacam os procedimentos e etapas para a construção de indicadores bibliométricos, essas iniciativas não mencionam os requisitos exigidos necessários para a realização das análises. Ou seja, não a um modelo padrão ou ideal para a realização da pesquisa.

Porém, para Da Silva; Hayashi e Hayashi (2011), há um conjunto de requisitos básicos (competências, habilidades e atitudes) que constitui as competências informacionais para a realização das análises bibliométricas, observadas no quadro 43.

**Quadro 43 - Requisitos básicos para análises bibliométricas**

<b>Competências</b>	<b>Habilidades</b>	<b>Atitudes</b>
Conhecer as bases teóricas da bibliometria e a aplicação das leis bibliométricas	Conhecer e selecionar fontes de informação	Interagir com profissionais e pesquisadores de outras áreas do conhecimento
Conhecer os principais indicadores bibliométricos	Conhecer as características das diversas tipologias documentais	Agir com ética na manipulação dos dados e interpretação dos resultados
Identificar áreas de excelência, associações temáticas, disciplinas emergentes, interdisciplinaridade, redes de colaboração temática e prioridades	<i>Expertise</i> para a elaboração de estratégias de pesquisa para a recuperação de dados	Desenvolver postura positiva frente às dificuldades surgidas nas etapas de coleta de dados
Conhecer a literatura de referência da área em que a bibliometria será aplicada	Elaborar instrumentos para a coleta de dados adequados	Dialogar com pesquisadores da área de conhecimento em que a bibliometria é aplicada
Avaliar a credibilidade e adequação dos repositórios de informação	Utilizar preferencialmente descritores baseados em vocabulários estruturados para buscas e recuperação de informação em base de dados	Reconhecer os alcances e limites das abordagens bibliométricas
Contextualizar os indicadores bibliométricos produzidos na literatura de referência da área pesquisada	Selecionar as ferramentas automatizadas para padronização e processamento de dados coletados	
Reconhecer tendências e identificar lacunas das áreas de conhecimento pesquisadas	Dominar os principais recursos estatísticos para produção de indicadores	
Estabelecer categorias de análise para interpretação dos indicadores bibliométricos produzidos	Produzir recursos visuais como tabelas e gráficos para apresentação dos indicadores produzidos	
	Dominar outras línguas, principalmente o inglês	

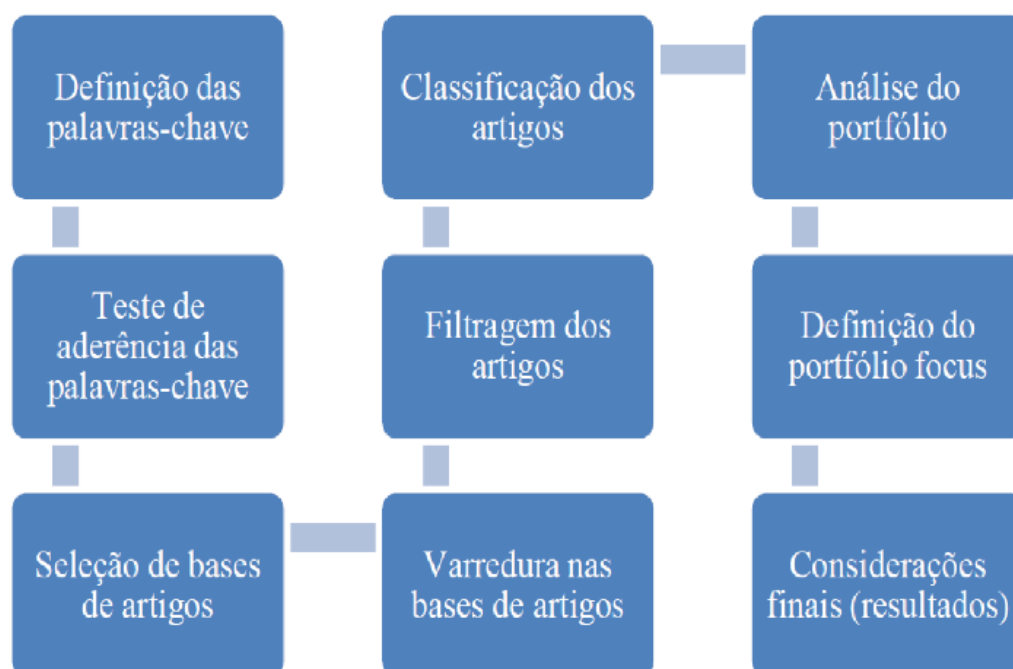
Fonte: Da Silva, Hayashi e Hayashi (2011).

A análise bibliométrica apresentada nesta pesquisa foi conduzida através do processo denominado ProKnow-C ou Knowledge Development Process – Constructivist

Afonso *et al.* (2011) definem o processo ProKnow-C como:

...consiste em uma série de procedimentos sequenciais que se iniciam desde a definição do mecanismo de busca de artigos científicos a ser utilizado, seguindo por uma série de procedimentos pré-estabelecidos até atingir a fase de filtragem e seleção do portfólio bibliográfico relevante sobre o tema (AFONSO *et al.*, 2011, p. 5).

Um resumo da representação desta metodologia é apresentado na figura 20.

**Figura 20** - Resumo do processo ProKnow-C

Fonte: Ruthes e Silva (2015).

É a partir da representação metodológica da figura 20, que o trabalho foi desenvolvido. Nos próximos subcapítulos são apresentados de forma geral o desenvolvimento da análise bibliométrica aplicada.

#### 4.2.1 Seleção das palavras-chave, teste de aderência e seleção dos bancos de dados

A seleção das palavras-chave foi realizada mediante o objetivo geral do trabalho, que envolve um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos desenvolvido a partir da aplicação da metodologia de dinâmica de sistemas. As palavras-chave utilizadas estão presentes no quadro 44.

O teste de aderência é uma etapa onde as palavras-chave são utilizadas em buscadores/plataformas para a verificação do retorno da pesquisa, ou seja, verifica se as palavras-chave usadas são condizentes para a pesquisa.

Para a realização do teste de aderência, foram pesquisadas separadamente no Google Acadêmico as seguintes palavras-chave: “Dinâmica de Sistemas ” e “Resíduos Sólidos Urbanos” em português e “*System Dynamics*”, “*Urban Solid Waste*” e “*Municipal Solid Waste*” em inglês. O retorno de cada palavra-chave pesquisada com aspas está presente no quadro 44.

**Quadro 44** - Número de retorno da pesquisa para cada palavra-chave

Palavra-chave	Retorno da pesquisa	Porcentagem
“Dinâmica de Sistemas”	4.040	0,4%
“Resíduos Sólidos Urbanos”	22.800	2,31%
“ <i>System Dynamics</i> ”	765.000	77,34%
“ <i>Urban Solid Waste</i> ”	9.290	0,94%
“ <i>Municipal Solid Waste</i> ”	188.000	19,01%
Total	989.130	100%

Fonte: Autoria própria (2016).

O primeiro resultado demonstra um predomínio de trabalhos na língua inglesa. O retorno da pesquisa no Google Acadêmico para a combinação das palavras-chave em inglês e português, está presente no quadro 45.

**Quadro 45** - Retorno da combinação das palavras-chave

Combinação de palavras-chave	Quantidade	Porcentagem
“Dinâmica de Sistemas” e “Resíduos Sólidos Urbanos”	57	28,5%
“ <i>System Dynamics</i> ” and “ <i>Municipal Solid Waste</i> ”	110	55%
“ <i>System Dynamics</i> ” and “ <i>Urban Solid Waste</i> ”	33	16,5%
Total	200	100%

Fonte: Autoria própria (2016).

O teste de aderência confirmou a consistência das palavras utilizadas e mediante isto, possibilitou a pesquisa de trabalhos nas principais bases acadêmicas do mundo. As principais bases pesquisadas foram: *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Scopus, Portal Capes, Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, *Directory of Open Access Journals* (DOAJ), *Science Direct Elsevier* e *Web of Science* (ISI – Thomson Scientific).

#### 4.2.2 Varredura nos bancos de dados

As pesquisas foram realizadas de julho a outubro de 2016 e o número de artigos encontrados nas bases de dados é apresentado no quadro 46.

**Quadro 46 - Quantificação dos trabalhos encontrados**

Base de dados	“Dinâmica de Sistemas” e “Resíduos Sólidos Urbanos”	“System Dynamics” and “Municipal Solid Waste”	“System Dynamics” and “Urban Solid Waste”
Scielo	2	1	1
Scopus	0	19	5
DOAJ	0	3	2
Science Direct	0	196	21
Portal Capes	0	47	7
Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	0	1	0
Web of science	0	240	60
Total	2	507	96

Fonte: Autoria própria (2016).

O total de trabalhos encontrados com as pesquisas realizadas nas bases de dados foram de 605. Uma distribuição percentual dos trabalhos por banco de dados é apresentada no quadro 47.

**Quadro 47 - Percentual dos trabalhos encontrados por banco de dados**

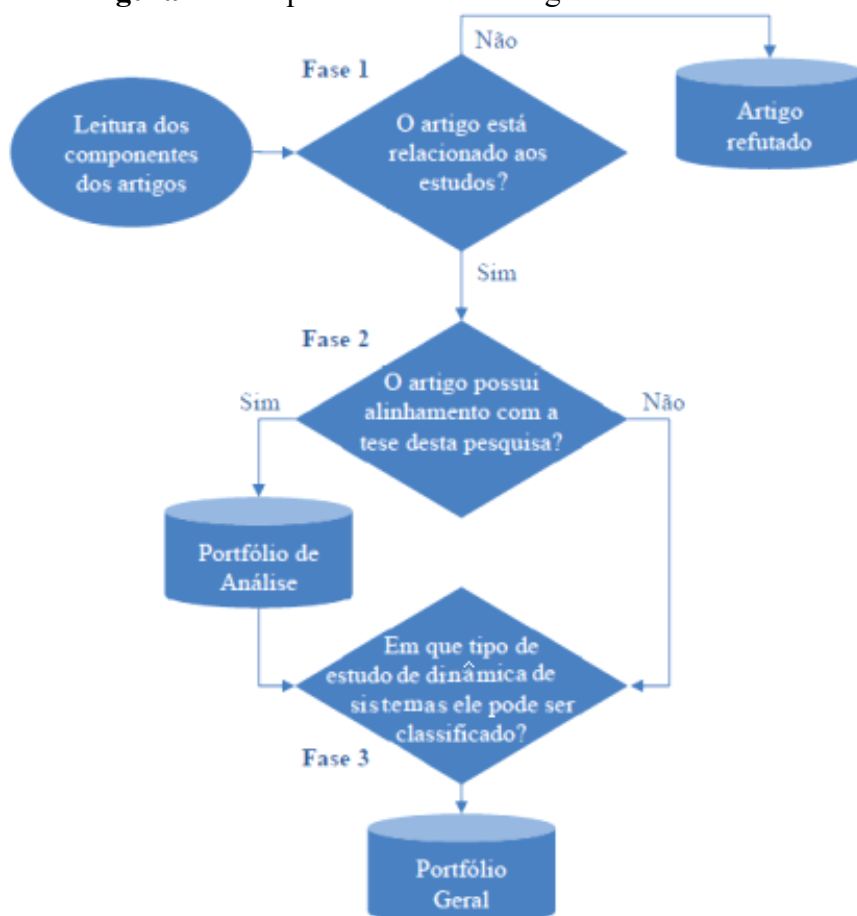
Base de dados	“Dinâmica de Sistemas” e “Resíduos Sólidos Urbanos”	“System Dynamics” and “Municipal Solid Waste”	“System Dynamics” and “Urban Solid Waste”
Scielo	0,33%	0,16%	0,16%
Scopus	0	3,14%	1,64%
DOAJ	0	0,49%	0,33%
Science Direct	0	32,40%	6,88%
Portal Capes	0	7,77%	2,29%
Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações	0	0,16%	0
Web of science	0	39,67%	9,92%
Total	0,33%	83,30%	15,87%

Fonte: Autoria própria (2016).

#### 4.2.3 Filtragem dos trabalhos e classificação dos artigos

O quadro 46 apresenta um portfólio bruto de todos os trabalhos encontrados. Destes trabalhos, foram selecionados os trabalhos que possuíam um alinhamento com a pesquisa, além de possuírem acesso irrestrito. O que totalizou 127 trabalhos. Para o alinhamento com a pesquisa foram analisados os títulos, as palavras-chave e os resumos. Seguindo o modelo utilizado por Ruthes e Silva (2015), porém adaptado para o foco da pesquisa deste trabalho (figura 21).

**Figura 21** - Sequência da metodologia bibliométrica utilizada



Fonte: Ruthes e Silva (2015).

Além da análise dos componentes dos trabalhos, foram retirados os trabalhos repetidos. Toda esta análise filtrou os trabalhos e reduziu para 21, conforme representado na figura 22.

**Figura 22** - Quantidade amostral dos trabalhos selecionados e filtrados para a pesquisa



Fonte: Autoria própria (2016).

Estes 21 trabalhos representam o portfólio principal da pesquisa, ou seja, são aqueles que estão mais próximos dos objetivos do trabalho.

## 4.2.4 Análise do portfólio potencial

Os artigos que compõem o portfólio da pesquisa estão relacionados no quadro 48.

**Quadro 48** - Apresentação dos artigos filtrados pela análise bibliométrica

Identificação	Trabalho
1	KOLEKAR, Kirankumar. A.; HAZRA, Tumpa.; CHAKRABARTY, Saikat. N. A Review on Prediction of Municipal Solid Waste Generation Models. <b>Procedia Environmental Sciences</b> , v. 35, p. 238-244, 2016.
2	KOLLIKATHARA, Naushad; FENG, Huan; YU, Danlin. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. <b>Waste management</b> , v. 30, n. 11, p. 2194-2203, 2010.
3	BABADER, Ahmed <i>et al.</i> A system dynamics approach for enhancing social behaviours regarding the reuse of packaging. <b>Expert Systems with Applications</b> , v. 46, p. 417-425, 2016.
4	SUKHOLTHAMAN, Pitchayanin; SHARP, Alice. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. <b>Waste Management</b> , v. 52, p. 50-61, 2016.
5	INGHEL, Dirk; DULLAERT, Wout. An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling. <b>Waste management &amp; research</b> , v. 29, n. 4, p. 351-370, 2010.
6	GEORGIADIS, Patroklos. An integrated system dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry. <b>Simulation Modelling Practice and Theory</b> , v. 32, p. 116-137, 2013.
7	KARAVEZYRIS, Vassilios; TIMPE, Klaus-Peter; MARZI, Ruth. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. <b>Mathematics and Computers in simulation</b> , v. 60, n. 3, p. 149-158, 2002.
8	ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Assessing the Efficiency of a PSS Solution for Waste Collection: A Simulation Based Approach. <b>Procedia CIRP</b> , v. 47, p. 252-257, 2016.
9	TOZAN, Yesim; OMPAD, Danielle C. Complexity and Dynamism from an Urban Health Perspective: a Rationale for a System Dynamics Approach. <b>Journal of Urban Health</b> , v. 92, n. 3, p. 490-501, 2015.
10	MATOS, Daniel Anijar de. <b>Tomada de decisão em redes logísticas de reciclagem de materiais através da dinâmica de sistemas</b> . Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 195. 2012.
11	TSOLAKIS, Naoum; ANTHOPOULOS, Leonidas. Eco-cities: An integrated system dynamics framework and a concise research taxonomy. <b>Sustainable Cities and Society</b> , v. 17, p. 1-14, 2015.
12	LIU, Gengyuan <i>et al.</i> Emergy-based dynamic mechanisms of urban development, resource consumption and environmental impacts. <b>Ecological Modelling</b> , v. 271, p. 90-102, 2014.
13	DYSON, Brian; CHANG, Ni-Bin. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. <b>Waste management</b> , v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005.
14	FAN, Chihhao <i>et al.</i> Modeling computer recycling in Taiwan using system dynamics. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 128, p. 167-175, 2018.
15	SUFIAN, Mohammad. A.; BALA, Bilash. K. Modeling of urban solid waste management system: the case of Dhaka city. <b>Waste Management</b> , v. 27, n. 7, p. 858-868, 2005.
16	ERIKSSON, Ola <i>et al.</i> Municipal solid waste management from a systems perspective. <b>Journal of Cleaner Production</b> , v. 13, n. 3, p. 241-252, 2005.

Continua

Conclusão

Identificação	Trabalho
17	LONG, Feng <i>et al.</i> Scenarios simulation on municipal plastic waste generation of different functional areas of Beijing. <b>Journal of Material Cycles and Waste Management</b> , v. 14, n. 3, p. 250-258, 2012.
18	SIMONETTO, Eugênio de O.; LÖBLERB, Mauri Leodir. Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. <b>Production</b> , v. 24, n. 1, p. 212-224, 2014.
19	SIMONETTO, Eugênio de O. Simulation computer to evaluate scenarios of solid waste—an approach using systems dynamics. <b>International Journal of Environment and Sustainable Development</b> 8, v. 13, n. 4, p. 339-353, 2014.
20	DACE, Elina <i>et al.</i> System dynamics model for analyzing effects of eco-design policy on packaging waste management system. <b>Resources, Conservation and Recycling</b> , v. 87, p. 175-190, 2014.
21	GUO, Huaqing <i>et al.</i> System dynamics-based evaluation of interventions to promote appropriate waste disposal behaviors in low-income urban areas: A Baltimore case study. <b>Waste Management</b> , 2016.

Fonte: Autoria própria (2016).

O quadro 49 apresenta uma breve descrição dos objetivos de cada trabalho.

#### Quadro 49 - Objetivos dos trabalhos selecionados que compõem o portfólio da pesquisa

Identificação	Objetivo
1	Revisar modelos relacionados com a geração de resíduos sólidos urbanos utilizando dados econômicos, sócio demográfico ou orientados para a gestão, identificar possíveis fatores que ajudarão a selecionar as opções de desenhos cruciais no âmbito da modelagem matemática.
2	Utilizar a dinâmica de sistemas para resolver algumas questões como: capacidade do aterro, impactos ambientais e despesas financeiras, ajustando um modelo para Newark região urbana nos EUA, e executar uma simulação de previsão.
3	Estudar a eficácia de melhorar os aspectos sociais do comportamento de reutilização e investigar as variáveis que levam ao aumento comportamento de reutilização em um curto período de tempo.
4	Avaliar o impacto da separação na fonte e sua eficácia na coleta e transporte de resíduos, através da ferramenta de apoio à decisão para compreender as interações de causa e efeito de diferentes variáveis no sistema de gestão de resíduos, em Bangkok, Tailândia.
5	Analisar a política de gestão de resíduos domésticos dos Flandres.
6	Propor um modelo de Dinâmica de Sistemas para planejamento da capacidade estratégica na indústria de reciclagem. Trabalha com os aspectos físicos e os fluxos aparente em redes de reciclagem do mundo real e inclui os mecanismos de feedback que regulam estes fluxos.
7	Apresentar um modelo de sistemas de gestão de resíduos baseado na dinâmica do sistema e utilizando a lógica <i>fuzzy</i> para prospecção de resíduos sólido urbanos.
8	Avaliar soluções baseados em PSS (Produto de Serviço de Sistemas) para a coleta de resíduos. Verificando a eficiência de custo, permitindo a programação dinâmica, comparando-a com o desempenho dos esquemas mais comuns.
9	Revisão da aplicação dos conceitos, princípios e métodos de pensamento sistêmico para o estudo dos fenômenos de saúde urbana complexos, como uma abordagem complementar aos métodos epidemiológicos padrão usando exemplos específicos e fornecendo recomendações sobre a melhor forma de incorporar métodos de sistemas de pensamento em investigações na saúde urbana e na prática.
10	Estudar um modelo de cadeia de suprimento de ciclo fechado de reciclagem, baseado no comportamento sistêmico, através da dinâmica de sistemas como ferramenta de tomada de decisão aplica à São Carlos.

Continua



Conclusão

Identificação	Objetivo
11	Validar uma modelagem urbana eco cidade, baseado em um paradigma ideal para o desenvolvimento urbano sustentável.
12	Descrever o desenvolvimento de um modelo de previsão, denominado modelo de energia baseado em dinâmica urbana, capaz de simular com precisão o consumo de recursos, o crescimento econômico e o impacto ambiental de Pequim 1999-2039.
13	Apresentar uma nova abordagem, modelo de dinâmica de sistema, para a previsão da geração de resíduos sólidos em uma área urbana de rápido crescimento com base em um conjunto de amostras limitadas, aplicado na cidade de San Antonio, Texas, Estados Unidos.
14	Desenvolver um modelo de reciclagem de computadores usando a dinâmica de sistemas para prever os resíduos eletrônicos em Taiwan.
15	Apresentar um modelo de computacional de dinâmica de sistemas para prever a geração de resíduos sólidos, a capacidade de coleta e produção de eletricidade a partir de resíduos sólidos e de avaliar as necessidades de gestão de resíduos da cidade urbana de Dhaka, Bangladesh.
16	Identificar a mais eficiente energia e menos poluente opção de gestão de resíduos a partir de uma perspectiva de sistemas.
17	Estabelecer a geração de um modelo de sistema para resíduos plásticos baseados na dinâmica de sistemas, afim de levar Pequim como um exemplo para simular e prever as gerações de resíduos plásticos em quatro áreas funcionais através de cenários.
18	Apresentar o desenvolvimento, validação e experimentação de um modelo de simulação utilizando a metodologia System Dynamics, a qual permite avaliar e analisar cenários acerca da geração e disposição final dos resíduos sólidos urbanos.
19	Apresentar o desenvolvimento, validação e experimentação de um modelo de simulação utilizando a metodologia de dinâmica de sistemas, que permite que usuários e gestores avaliem e analisarem cenários sobre a geração e eliminação de resíduos sólidos urbanos.
20	Analisar os mecanismos de política que promovem eficiência do material das embalagens através do aumento das taxas de reciclagem. O modelo inclui incentivos econômicos tais como impostos sobre a embalagem e aterros sanitários combinados com mecanismos de mercado, aspectos comportamentais e considerações ecológicas em termos de eficiência dos materiais.
21	Apresentar um modelo de dinâmica de sistemas afim de quantificar os impactos das intervenções sobre o comportamento relacionado com resíduos residenciais.

Fonte: Aatoria própria (2016).

A partir da identificação e apresentação dos artigos que compõem o portfólio da pesquisa, foi realizado uma análise que envolveu as seguintes variáveis: ano de publicação, tipo de documento, procedência (periódico) e quantidade de citações que o trabalho havia recebido até o período de análise, ou seja, até outubro de 2016.

As variáveis são apresentadas no quadro 50, onde os trabalhos foram rearranjados por ordem cronológica.

**Quadro 50 - Análise do portfólio**

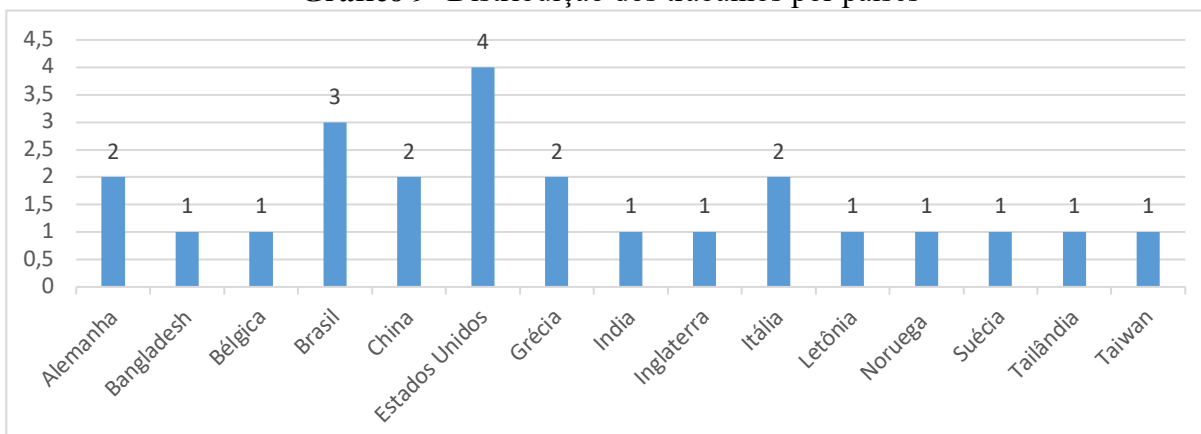
Identificação	Ano	Documento	Procedência	Citações
7	2002	Artigo	Mathematics and Computers in simulation	108
13	2005	Artigo	Waste management	278
15	2005	Artigo	Waste Management	81
16	2005	Artigo	Journal of Cleaner Production	308
2	2010	Artigo	Waste management	70
5	2010	Artigo	Waste Management & Research	5
10	2012	Tese	USP	0
17	2012	Artigo	Journal of Material Cycles and Waste Management	4
6	2013	Artigo	Simulation Modelling Practice and Theory	19
12	2014	Artigo	Ecological Modelling	32
18	2014	Artigo	Production	0
19	2014	Artigo	International Journal of Environment and Sustainable Development	1
20	2014	Artigo	Resources, Conservation and Recycling	21
9	2015	Artigo	Journal of Urban Health	1
11	2015	Artigo	Sustainable Cities and Society	10
1	2016	Artigo	Procedia Environmental Sciences	0
3	2016	Artigo	Expert Systems with Applications	1
4	2016	Artigo	Waste Management	0
8	2016	Artigo	Procedia CIRP	0
14	2016	Artigo	Resources, Conservation and Recycling	0
21	2016	Artigo	Waste management	0

Fonte: A autoria própria (2016).

A partir das análises realizadas foi constatado que os trabalhos foram feitos por um total de 163 autores diferentes e apenas o pesquisador Eugênio Simonetto possui mais de um trabalho, são eles: Simonetto (2014) e Simonetto e Löblerb (2014).

A procedência dos trabalhos foi levantada pela origem dos autores, ou seja, por seus países, uma vez que pesquisas possuem cooperações internacionais.

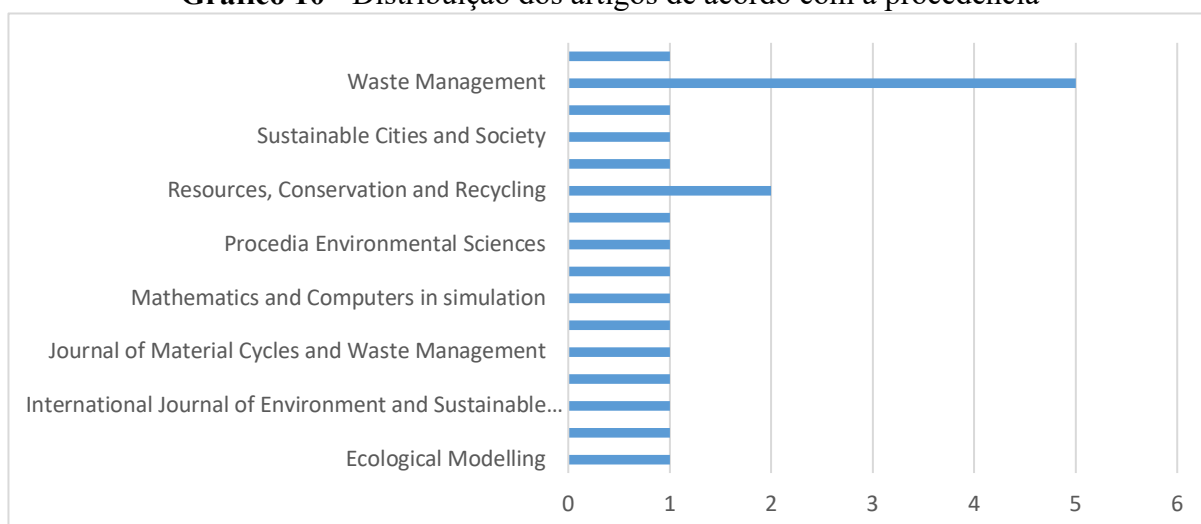
O gráfico 9 apresenta a origem dos trabalhos por países. Há um predomínio Estadunidense nas produções com quatro artigos, seguidos pelo Brasil com três e Alemanha, China, Grécia e Itália com dois artigos.

**Gráfico 9- Distribuição dos trabalhos por países**

Fonte: A autoria própria (2016).

O gráfico 10 apresenta a procedência dos trabalhos. O periódico *Waste Management* foi quem mais contribui com 5 artigos.

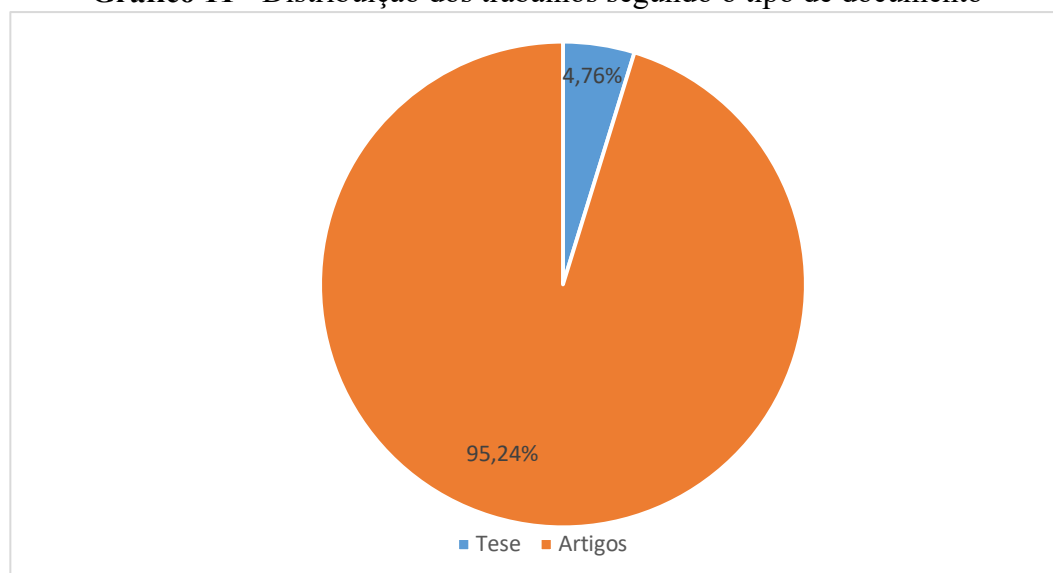
**Gráfico 10 - Distribuição dos artigos de acordo com a procedência**



Fonte: A autoria própria (2016).

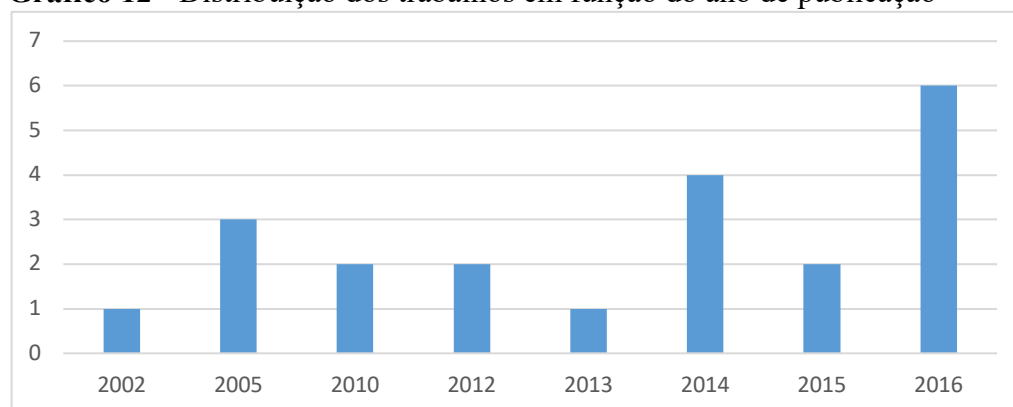
A maioria dos documentos encontrados na pesquisa são artigos científicos totalizando 20 trabalhos e apenas uma tese, como demonstra o gráfico 11.

**Gráfico 11 - Distribuição dos trabalhos segundo o tipo de documento**



Fonte: A autoria própria (2016).

A pesquisa revelou que os trabalhos envolvendo a gestão de resíduos sólidos urbanos e a dinâmica de sistemas é recente e uma distribuição de acordo com o ano de publicação é apresentado no gráfico 12.

**Gráfico 12 - Distribuição dos trabalhos em função do ano de publicação**

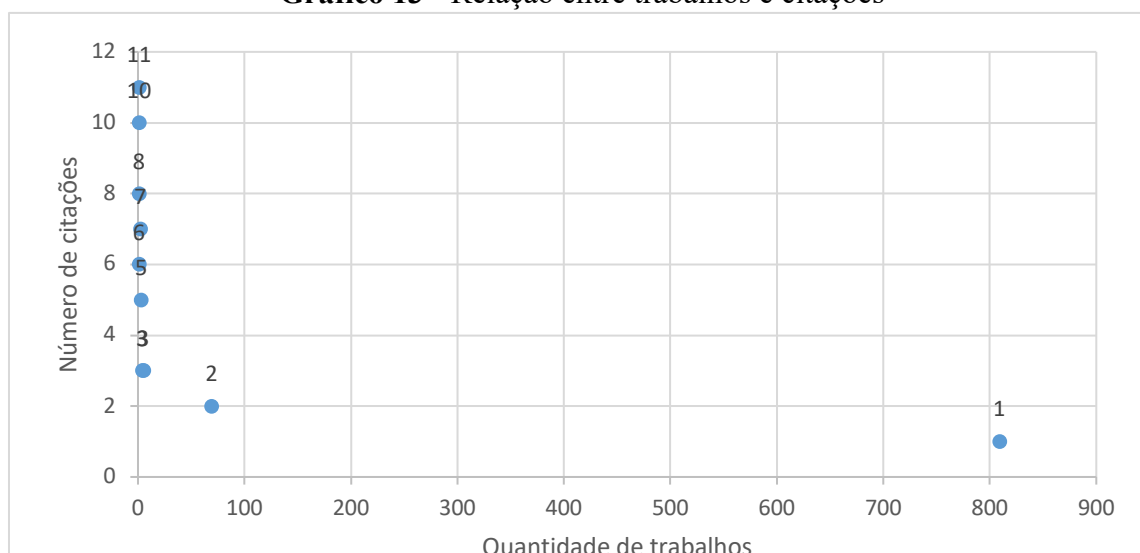
Fonte: Autoria própria (2016).

Com relação as citações, os trabalhos mais antigos são os mais referenciados. Para finalizar a análise dos trabalhos que compõem o portfólio da tese, foram analisadas as referências dos trabalhos, esta análise é apresentada no subcapítulo a seguir.

#### 4.2.5 Análise das referências dos trabalhos que compõem o portfólio da tese

Um total de 1039 referências compõem os 21 trabalhos utilizados no portfólio. Estas referências são compostas basicamente por teses, manuais, relatórios governamentais e predominantemente artigos.

O gráfico 13 apresenta a relação entre trabalhos e citações. Nota-se um predomínio de trabalhos que foram citados apenas uma vez, totalizando 809, seguidos por 69 trabalhos citados 2 vezes e 5 trabalhos citados 3 vezes.

**Gráfico 13 - Relação entre trabalhos e citações**

Fonte: Autoria própria (2016).

No quadro 51 são apresentados detalhadamente os demais trabalhos citados mais de 3 vezes.

#### Quadro 51 - Referências citadas mais de 3 vezes

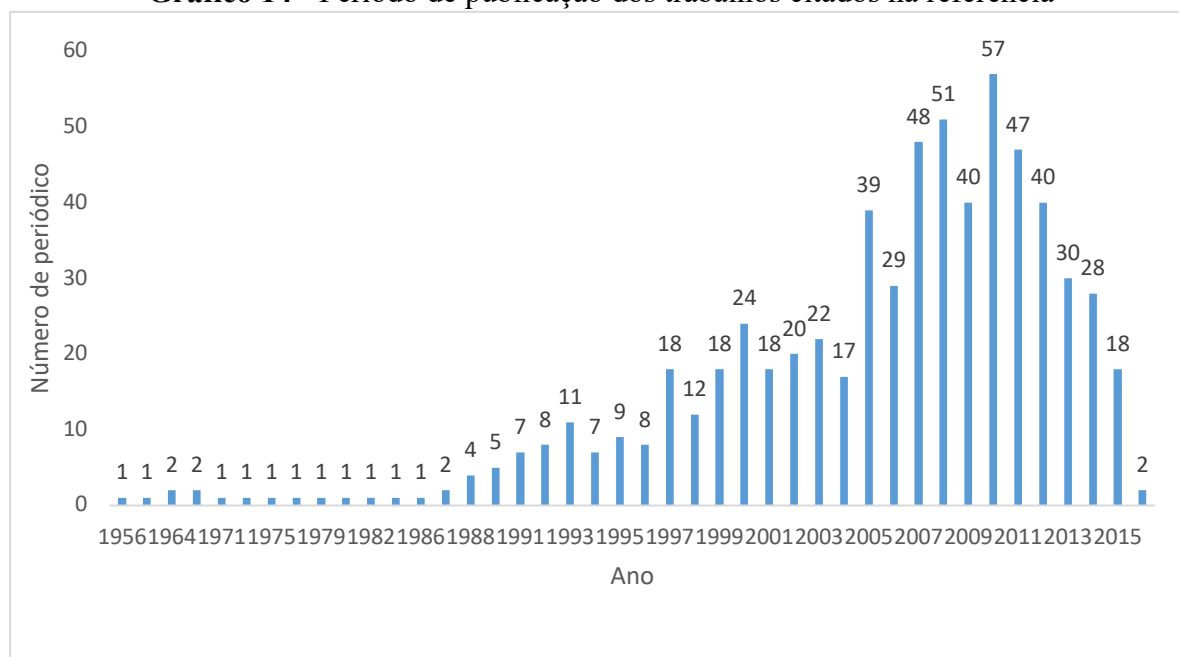
Trabalho	Citações
FORRESTER, J. W. <b>Urban dynamics</b> . Cambridge: MIT Press, 1969.	4
MASHAYEKHI, Ali N. Transition in the New York State solid waste system: a dynamic analysis. <b>System Dynamics Review</b> , v. 9, n. 1, p. 23-47, 1993.	4
CHAERUL, Mochammad; TANAKA, Masaru; SHEKDAR, Ashok V. A system dynamics approach for hospital waste management. <b>Waste management</b> , v. 28, n. 2, p. 442-449, 2008.	4
DEATON, Michael; WINEBRAKE, James J. <b>Dynamic modeling of environmental systems</b> . New York: Springer-Verlag, 2000.	5
HAO, Jian. L.; HILLS, Martyn. J.; HUANG, T. A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. <b>Construction Innovation</b> , v. 7, n. 1, p. 7-21, 2007.	5
KOLLIKATHARA, Naushad; FENG, Huan; YU, Danlin. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. <b>Waste management</b> , v. 30, n. 11, p. 2194-2203, 2010.	5
KARAVEZYRIS, Vassilios; TIMPE, Klaus-Peter; MARZI, Ruth. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. <b>Mathematics and Computers in simulation</b> , v. 60, n. 3, p. 149-158, 2002.	6
FORRESTER, J. W. <b>Industrial Dynamics</b> . Cambridge: Mit Press, 1961.	7
SUDHIR, Varadarajan.; SRINIVASAN, G.; MURALEEDHARAN, Vangal. R. Planning for sustainable solid waste management in urban India. <b>System Dynamics Review</b> , v. 13, n. 3, p. 223-246, 1997.	7
STERMAN, John D. <b>Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world</b> . Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.	8
DYSON, Brian; CHANG, Ni-Bin. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. <b>Waste management</b> , v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005.	10
SUFIAN, Mohammad. A.; BALA, Bilash. K. Modeling of urban solid waste management system: the case of Dhaka city. <b>Waste Management</b> , v. 27, n. 7, p. 858-868, 2005.	11

Fonte: Autoria própria (2016).

Nota-se que os trabalhos citados mais vezes são 8 artigos e 4 livros. Desta relação, o autor Forrester (1961; 1969) é o mais utilizado, justificado por ter implantado a metodologia de dinâmica de sistemas, assim seus trabalhos são seminais para a área.

As outras análises realizadas a partir das referências dos trabalhos selecionados, estão relacionados especificamente aos artigos utilizados, o que representam aproximadamente 63% das referências. Para tanto, foi analisado o ano de publicação, as procedências e a relação entre periódico e citação.

Com relação ao período publicado, a maioria dos artigos utilizados são posteriores ao ano 2000 demonstrados no gráfico 14.

**Gráfico 14 - Período de publicação dos trabalhos citados na referência**

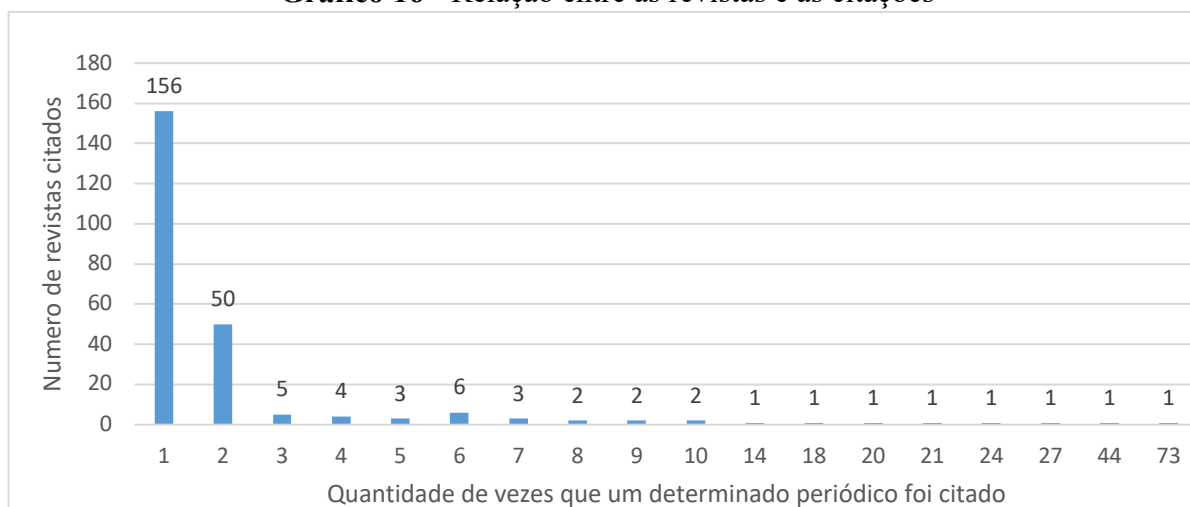
Fonte: Autoria própria (2016).

Os periódicos com mais de 10 citações são apresentados no gráfico 15. Nota-se um predomínio de artigos provenientes da revista *Waste Management* e da revista *Resources, Conservation and Recycling*.

**Gráfico 15 - Periódicos mais citados**

Fonte: Autoria própria (2016).

A relação revista e número de citações é apresentada de forma geral no gráfico 16. Há uma predominância de periódicos citados apenas uma vez.

**Gráfico 16 - Relação entre as revistas e as citações**

Fonte: Autoria própria (2016).

A partir da análise dos artigos que compõem o portfólio e de suas referências é possível extrair algumas considerações. A primeira é que os trabalhos envolvendo a gestão de resíduos sólidos urbanos e a metodologia de dinâmica de sistemas é nova. Justificado pela recente transição de uma ferramenta militar para a área de negócios e depois difundida para outros ramos do conhecimento.

O aumento dos trabalhos utilizando a ferramenta de forma geral ocorre na segunda metade da década de 1990 e com aplicações na área de resíduos principalmente pós anos 2000. Não existindo muitos trabalhos envolvendo as duas temáticas, com relação ao cenário brasileiro, há poucos trabalhos, os quais trabalham a gestão de resíduos de forma generalizada, ou seja, não levam em conta a atual condição de um determinado município brasileiro. O que abre brechas para explorações e pesquisas mais específicas, com objetivo de atender a Política Nacional de Resíduos Sólidos e encontrar alternativas para uma gestão de alto custo, baixo reaproveitamento de materiais e necessidade de grandes áreas para aterro sanitário.

### 4.3 Planejamento da pesquisa

Para Marconi e Lakatos (2003), a pesquisa é um procedimento formal, que conta com um método de pensamento reflexivo, além de requerer um tratamento científico, constituindo um meio para conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais.

De forma objetiva a pesquisa seguiu as seguintes etapas de procedimentos descritas por Quivy e Campenhoudt (2008): 1. Pergunta de partida; 2. A exploração: leituras; 3. A

problemática; 4. A construção de modelo de análise; 5. A observação; 6. Análise das informações; e 7. As conclusões/ considerações.

#### 4.4 Operacionalização da pesquisa

A pesquisa foi voltada para a definição de um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos baseado na dinâmica de sistemas e na teoria de economia circular para planejamento e tomada de decisão, a fim de possibilitar implantações alternativas de políticas públicas.

A partir do levantamento de dados primários e secundários realizados através das pesquisas: bibliométrica, documental e entrevistas foi construído o modelo de dinâmica de sistemas. A metodologia da Dinâmica de Sistemas aplicada na pesquisa seguiu o que Matos (2012, p. 98) definiu como:

“... uma técnica de modelagem e simulação especificamente projetada para problemas dinâmicos de gerenciamento a longo prazo. Esta propõe entender como os processos físicos, os fluxos de informação e a gestão de políticas interagem para então criar a dinâmica das variáveis de interesse”.

Desta forma, a pesquisa seguiu os cinco passos propostos por Sterman (2000) para o processo de modelagem: Articulação de Problemas (Seleção de Limites); Formulação de Hipóteses Dinâmicas; Formulação de um modelo de simulação; Teste; e Planejamento e Avaliação de Políticas.

**Primeiro passo:** o problema está relacionado a atual gestão praticada no Brasil e as deficiências encontradas em Curitiba nas pesquisas passadas. Desta forma, o trabalho propôs um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos aplicado ao município, possuindo como base a Política Nacional de Resíduos Sólidos e a teoria de Economia Circular.

A atual investigação é o desdobramento de pesquisas passadas como: Fugii (2014) e Silva, Fugii e Santoyo (2017), as quais forneceram as variáveis para o desenvolvimento do modelo apresentado.

Fugii (2014) utilizou a metodologia de prospecção estratégica e a técnica Delphi. A Prospectiva ocupa-se apenas com a questão: “O que pode acontecer?” e torna-se estratégica quando uma organização se interroga sobre “Que posso fazer?”, conseqüentemente partindo para as questões seguintes “Que vou fazer?” e “Como vou fazê-lo?”. Surge, então, a sobreposição entre a Prospectiva (previsão) e a Estratégia (GODET *et al.*, 2000).

A técnica Delphi demonstrou a estruturação da pesquisa de levantamento junto aos especialistas. O Delphi é um dos métodos subjetivos de previsão mais confiável, retratando a



evolução de situações complexas, por meio da elaboração de estatística de opiniões de especialistas sobre o assunto (CRESPO, 2007). Entre suas principais características estão o anonimato dos participantes que compõem o grupo, garantindo aos participantes tranquilidade em defender seus argumentos (SANTOYO, 2012).

O método consiste na organização de um diálogo com especialistas por meio de questionários, a fim de obter um consenso geral ou, pelo menos, razões para a discrepância. O confronto de pontos de vista é feito por meio de uma série de perguntas sucessivas, entre cada uma das quais as informações obtidas passam por um tratamento estatístico – matemático (CRESPO, 2007).

Segundo Santiago e Dias (2012), o método Delphi demonstra ser uma importante ferramenta para a pesquisa de opinião e para a busca de consenso entre especialistas da área de resíduos sólidos, devido a experiência e do conhecimento acumulado ao longo dos anos sobre a GRSU.

Um dos resultados da pesquisa de mestrado foi um conjunto de 36 variáveis presentes na gestão de resíduos sólidos urbanos, o que gerou o artigo: “O que é relevante para planejar e gerir resíduos sólidos? Uma proposta de definição de variáveis para a formulação e avaliação de políticas públicas” (SILVA *et al.*, 2015).

**Segundo passo:** está relacionado ao objetivo geral da pesquisa, que foi apresentar um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos, baseado em dinâmica de sistemas para antecipar o futuro, gerando cenários e auxiliar na tomada de decisão.

A base do modelo apresentado foi desenvolvida a partir da dissertação de Fugii (2014) e do artigo publicado por Silva, Fugii e Santoyo (2017). Tal trabalho teve como objetivo realizar um estudo cujo objetivo foi propor um modelo de avaliação das ações do poder público municipal de Curitiba diante das políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos para o contexto brasileiro. Tal modelo envolveu 5 etapas metodológicas: compreensão das variáveis de análise previstas; pesquisa Delphi para validar as relações entre as variáveis; estruturação de um modelo para avaliação com a relação das variáveis e suas inter-relações; definição dos documentos e instrumentos para aplicação do modelo; aplicação do modelo para o caso de Curitiba.

Silva, Fugii e Santoyo (2017) expõem dos que o modelo de gestão de resíduos sólidos em Curitiba apresenta deficiências, ou seja, demonstram que há variáveis que não estão alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, abrindo espaço para pesquisas e desdobramentos futuros.

O modelo também seguiu as considerações propostas pela banca, o que influenciou a investigação por alternativas para os resíduos úmidos. As buscas foram feitas com o objetivo de encontrar alternativas viáveis para o tratamento dos resíduos orgânicos além da complementação do subcapítulo “os elementos que constituem um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos”.

Os trabalhos de: Epstein (2011), Hoornweg, Thomas e Otten (1999), Inacio e Miller (2009), Lohri *et al.* (2017), Lim, Lee e Wu (2016), Massukado (2008), Siqueira e Assad (2015), entre outros retratam a compostagem e contribuíram para uma descentralização do sistema de tratamento de resíduos sólidos atuais, o que possibilitou o desenvolvimento de um cenário com tratamento doméstico/comunitário para os resíduos úmidos.

**Terceiro e quarto passo** são respectivamente a formulação de um modelo de simulação e o teste que utilizaram o programa de computador *Vensim® Software*. Programa que foi estudado no período do doutorado sanduiche realizado na Universidad de Alcalá, Madri, Espanha, no período de 01/08/2017 a 31/01/2018.

Para a simulação e teste do modelo foram realizadas entrevistas para a atualização do atual cenário de Curitiba, bem como fornecer os dados primários necessários para desenvolver o sistema. A obtenção dos dados primários contou com a participação de indivíduos ligados direta ou indiretamente à gestão de resíduos de Curitiba, ou seja, pessoas da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Instituto Lixo e Cidadania e Secretaria Municipal de Abastecimento. As obtenções dos dados foram feitas presencialmente através de um questionário semiestruturado ou através de questionamentos feitos a partir do correio eletrônico, no segundo semestre de 2018.

Entre as respostas primárias obtidas para execução dos cenários estão o custo atual de coleta, o custo de disposição final, quantidade per capita gerada de resíduos, composição gravimétrica do resíduo gerado, destino final, tratamentos existentes, ações futuras e o horizonte de análise, que é o tempo de duração do próximo serviço licitado.

Além dos dados primários a pesquisa contou com a complementação de dados secundários oficiais provenientes do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – (SNIS), Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba de 2017, Plano de Gerenciamento do Tratamento e Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos do Consórcio Intermunicipal para a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, além do portal eletrônico da prefeitura de Curitiba.

Tais fontes forneceram o número de habitantes, a taxa de crescimento populacional, estratégias passadas, ações futuras e dados históricos da gestão desde 2010.

A partir dos dados e das variáveis foi construído um modelo baseado na metodologia de Dinâmica de Sistemas a qual dá o ineditismo para a pesquisa e seus cenários foram desenvolvidos com base na Economia Circular, na Política Nacional de Resíduos Sólidos e nas problemáticas encontradas nas pesquisas passadas.

Desta forma os cenários gerados possuem uma maior circularidade de materiais através da reciclagem de matéria seca e úmida, redução da quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário, responsabilidade compartilhada pelos resíduos, tecnologias alternativas de tratamento, um melhor acondicionamento e segregação, além de evitar a geração de resíduos.

**Quinto passo:** planejamento e avaliação de políticas, que foram discutidos a partir dos resultados obtidos da aplicação do modelo simulando o município de Curitiba.

Tal simulação foi feita para um horizonte de 27 anos que corresponde a duração do próximo serviço licitado. O primeiro cenário apresentou um desdobramento da atual conjuntura do sistema de gestão de resíduos até o ano de 2045, ou seja, segue com os problemas e as limitações presentes e gera as consequências futuras.

A partir do primeiro modelo foi possível gerar outros cenários para a gestão do município com o acionamento de novas variáveis. Como por exemplo: a criação de uma estação de transbordo, aumento da reciclagem dos resíduos secos, compostagem, maior participação da sociedade e melhor segregação na fonte geradora.

Os desdobramentos futuros dão um panorama dos resultados obtidos a partir de ações passadas, assim o modelo demonstra possibilidades e alternativas para uma nova gestão de resíduos sólidos urbanos contribuindo para o planejamento estratégico, tomada de decisão e políticas públicas.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados da pesquisa conforme os objetivos específicos seguidos da discussão.

### 5.1 Objetivo específico a: situação atual de Curitiba

Curitiba é a capital do Paraná e o polo do conjunto de 29 municípios que compreendem a Região Metropolitana de Curitiba (RMC). São eles: Adrianópolis, Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiuva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo do Tenente, Campo Largo, Campo Magro, Cerro Azul, Colombo, Contenda, Curitiba, Doutor Ulysses, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Lapa, Mandirituba, Piên, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, Rio Branco do Sul, Rio Negro, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná (PARANÁ, 2013).

A RMC possui um território de aproximadamente 16.581,21 km<sup>2</sup> e uma população de 3.502.790 habitantes em 2015, o que representa cerca de 31,37% dos habitantes do Paraná (CONRESOL, 2018).

De acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (2019) o município de Curitiba possui uma população estimada de 1.917.185 pessoas distribuídas em 75 bairros. A cidade é a oitava maior no Brasil em relação ao número de habitantes, sendo a maior da região Sul e com uma taxa de crescimento de 0,99 % por ano (CURITIBA, 2017).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2016, Curitiba é o quinto Produto Interno do Bruto do Brasil, representando 1,4% do PIB nacional. Já em relação ao estado do Paraná representa 20,9%. Entre as atividades econômicas, a cidade se destaca na indústria ocupando a sexta posição no cenário nacional, com destaque para metalurgia, materiais, equipamentos e fabricação de automóveis (IBGE, 2016).

Curitiba faz parte desde 2001 do Consórcio Intermunicipal para Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (CONRESOL), o qual é o responsável pelo tratamento e destinação final dos resíduos. O empreendimento é composto por outros 22 municípios: Adrianópolis, Agudos do Sul, Almirante Tamandaré, Araucária, Balsa Nova, Bocaiuva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Contenda, Fazenda Rio Grande, Itaperuçu, Mandirituba, Piên, Pinhais, Piraquara, Quatro Barras, Quitandinha, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná (CONRESOL, 2018).

O consórcio possui um Plano de Gerenciamento do Tratamento e Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos, cujos objetivos são organizar e proceder ações para a gestão do sistema de tratamento e destinação final dos RSU e obedecendo as normas técnicas e legislações (CONRESOL, 2018). Seus objetivos específicos são apresentados no quadro 52.

**Quadro 52 - Objetivos específicos do Consórcio Intermunicipal**

Identificação	Objetivos específicos
A	Proteção da saúde humana
B	Promoção da qualidade ambiental
C	Preservação dos recursos naturais
D	Incentivo à produção mais limpa
E	Triagem de materiais para reuso ou reciclagem
F	Aproveitamento dos resíduos orgânicos presentes nos resíduos sólidos domésticos para a produção de composto orgânico ou outras formas de aproveitamento
G	Utilização dos materiais não passíveis de aproveitamento orgânico e/ou reciclagem para a produção de insumo energético
H	Redução da dependência de aterro sanitário para a destinação final dos resíduos
I	Disposição em aterro sanitário apenas de rejeitos
J	Eliminação do lançamento de chorume in natura em corpo hídrico receptor
K	Definição de metodologia para medição, registro e acompanhamento das metas para operação
L	Implantação de um sistema para registro e avaliação sistemática dos resultados de desempenho
M	Redução das distâncias percorridas pelos caminhões de coleta ou de transporte de resíduos até o local de destinação
N	Otimização do transporte secundário dos resíduos sólidos urbanos, minimizando o impacto ambiental e financeiro do serviço

Fonte: Conresol (2018).

O Plano Intermunicipal aborda um sistema integrado e descentralizado de processamento e aproveitamento de resíduos, além de serviços de triagem, transbordo, transporte secundário, processamento e tratamento dos RSUs com uma disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

As premissas adotadas pelo Consórcio Intermunicipal estão dispostas no quadro 53.

**Quadro 53 - Premissas do Consórcio Intermunicipal de Curitiba**

Premissas	Descrição
1	Eliminação da destinação de resíduo bruto em aterro sanitário
2	Valorização do resíduo, possibilitando o aproveitamento de seus componentes
3	Aproveitamento dos materiais presentes nos resíduos domiciliares em processos como reciclagem, produção de composto orgânico, utilização como insumos energéticos, entre outros
4	Agregação de valor econômico nos produtos resultantes dos processos de aproveitamento, reduzindo os custos do tratamento e disposição final dos resíduos; (5) Não geração de passivos ambientais
5	Não geração de passivos ambientais
6	Descentralização do sistema de tratamento dos resíduos sólidos urbanos

Fonte: Conresol (2018).

Os seus princípios são a (I) Prevenção; (II) Precaução; (III) O princípio do Poluidor Pagador; (IV) Desenvolvimento Sustentável; (V) Responsabilidade Solidária e a Responsabilidade Sócio-Ambiental (CONRESOL, 2018). As regras fundamentais para o gerenciamento estão presentes na Política Nacional de Resíduos Sólidos: não geração, a redução, a minimização, o reuso, a reciclagem, a recuperação, o tratamento e a destinação final adequadas, garantindo à saúde da população e a proteção do ambiente (CONRESOL, 2018).

A metas do Plano são: Divisão por região de abrangência do consórcio em quatro polos; Operacionalização de unidades de tratamento, Implementação de transporte secundário eficiente, que otimize o serviço tanto no aspecto ambiental quanto no financeiro; Descentralização do sistema de processamento e tratamento de resíduos sólidos urbanos; Redução das distâncias percorridas pelos caminhões de coleta e de transporte até as unidades de processamento e tratamento; Redução da emissão de gases de efeito estufa decorrente do transporte de RSUs na área de abrangência do Consórcio; Fomento à indústria da reciclagem.

As unidades de tratamento aproveitarão os resíduos reduzindo progressivamente a dependência de aterro sanitário, através da reciclagem, produção de composto ou biofertilizante, insumo energético, entre outros. Agrega-se valor econômico aos produtos resultantes dos processos de aproveitamento de forma a reduzir os custos do tratamento e disposição final de resíduos e a não geração de passivos ambientais (CONRESOL, 2018).

Além do plano intermunicipal há em Curitiba um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de 2017, que está alinhado com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a Lei Federal de Saneamento Básico, Manual de Orientação desenvolvido pelo Ministério de Meio Ambiente e pelo Governos Locais pela Sustentabilidade (ICLEI) (CURITIBA, 2017).

O atual Plano Municipal é a revisão do antigo e foi atualizado através de dados, informações e reuniões técnicas com os membros de uma comissão, afim de colher opiniões e sugestões dos participantes (CURITIBA, 2017). O antigo Plano foi construído com a participação do poder público, da sociedade civil e do setor empresarial (CURITIBA, 2013).

A responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos em Curitiba é da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMMA), além disso, ela é responsável pela: (1) Conservação de parques, praças, jardins e cemitérios municipais; (2) Implantação e manutenção de áreas de lazer; (3) Levantamento e cadastramento de áreas verdes; (4) Controlar e fiscalizar as reservas naturais urbanas; (5) Administrar, preservar e manter o Zoológico; (6) desenvolver pesquisas científicas relativas à fauna e à flora; (7) Controlar e fiscalizar a poluição ambiental (CURITIBA, 1986).

O Departamento de Limpeza Pública (DLP) e o Departamento de Pesquisa e Monitoramento compõem a estrutura da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, oferecendo dados sobre os serviços municipais de limpeza pública, coleta e disposição de resíduos sólidos (CURITIBA, 2013).

O Departamento de Limpeza Pública realiza os serviços de forma direta (execução própria) ou indireta através de contratos, além disso o DLP faz o gerenciamento, a supervisão e fiscalização dos trabalhos executados (CURITIBA, 2017).

O Departamento possui um quadro com 81 servidores municipais distribuídos em atividades administrativas, gerenciais e de fiscalização, contando também com 2.758 trabalhadores das empresas terceirizadas de limpeza pública (CURITIBA, 2017).

A empresa responsável pelo atual serviço é a Cavo a qual foi adquirida pela Estre Ambiental S.A, a qual fornece serviços ambientais como: transporte, coleta, valorização, limpeza e tratamento.

A empresa possui a filosofia que os resíduos representam uma série de oportunidades econômicas, ambientais, sociais, tecnológicas e comportamentais, tendo o potencial de gerar novas formas de combustível, novos empregos e insumos produtivos.

Já o Departamento de Pesquisa e Monitoramento executa o controle ambiental de forma preventiva por meio do licenciamento, fiscalização e aplicação de penalidades, além de ações de sensibilização e mobilização da população por meio da Gerência de Educação Ambiental (CURITIBA, 2017).

#### 5.1.1 Diretrizes, estratégias, programas e ações para a gestão dos resíduos do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba

O Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de 2017 possui diretrizes específicas, de trabalho e estratégias de implementação para os resíduos sólidos urbanos e são apresentados nos quadros 54 e 55 respectivamente.

**Quadro 54 - Diretrizes Específicas do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**

<b>Diretrizes específicas</b>	<b>Diretrizes de Trabalho</b>
Disposição final ambientalmente adequada de rejeitos	1. Manter aterro sanitário e aterros controlados, compreendendo a avaliação das suas condições ambientais (estabilidade, contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, migração de gases)
Redução dos resíduos sólidos secos dispostos em aterros sanitários e inclusão dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis	2. Promover a redução progressiva dos resíduos secos dispostos em aterros sanitários 3. Qualificar e fortalecer a organização para a inclusão socioeconômica dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis 4. Buscar a contínua redução na geração de RSU, levando em consideração as especificidades locais 5. Induzir tecnologias para o aproveitamento energético a partir da parcela seca não reciclável do resíduo sólido urbano
Redução de resíduos sólidos urbanos úmidos dispostos em aterro sanitário e tratamento e recuperação de gases em aterro sanitário	6. Induzir a compostagem, o aproveitamento energético do biogás gerado em biodigestores ou em aterros sanitários ou outras tecnologias visando à geração de energia a partir da parcela úmida do RSU
Qualificação da Gestão de Resíduos Sólidos	7. Fortalecer a gestão do serviço público de limpeza urbana e manejo de RSU por meio adequado da cobrança dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos

Fonte: Curitiba (2017).

O quadro 54 apresentou diretrizes de trabalho para as diretrizes específicas do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba. O quadro 55 apresenta 6 diretrizes de trabalho e suas estratégias de implantação para os resíduos sólidos urbanos domiciliares.

**Quadro 55 - Diretrizes de trabalho do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**

<b>Diretrizes de trabalho</b>	<b>Estratégias de implementação</b>
1. Recuperar aterro sanitário e aterros controlados encerrados, compreendendo a avaliação das suas condições ambientais (estabilidade, contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, migração de gases)	Estratégia 1: Realizar estudos visando o estabelecimento de critérios de priorização das ações destinadas à recuperação de passivos. Estratégia 2: Realizar levantamento das necessidades de investimentos para recuperação de passivos Estratégia 3: Realizar estudos de viabilidade técnica e econômica visando, quando possível, a captação de gases para geração de energia.
2. Promover a redução progressiva dos resíduos secos dispostos em aterro sanitário	Estratégia 1: Consolidar a Agenda Ambiental na Administração Pública (A3P) como marco referencial de responsabilidade socioambiental nas atividades das unidades administrativas direta e indireta. Estratégia 2: Promover a inserção de critérios ambientais nas licitações públicas, com prioridade nas aquisições de produtos reciclados e que possam ser reutilizados ou reciclados. Estratégia 3: Desenvolver programas de conscientização no uso de materiais e recursos dentro dos órgãos governamentais, visando a gestão adequada dos resíduos gerados e melhoria da qualidade de vida no ambiente de trabalho. Estratégia 4: Conceber e pôr em prática iniciativas de educação ambiental para o consumo sustentável (programas interdisciplinares e transversais, pesquisas, estudos de caso, guias e manuais, campanhas e outros) para sensibilizar e mobilizar o indivíduo/consumidor, visando a mudanças de comportamento por parte da população em geral, em conformidade com a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA – Lei nº 9.795/99).

Continua



Continuação

Diretrizes de trabalho	Estratégias de implementação
<p>2. Promover a redução progressiva dos resíduos secos dispostos em aterro sanitário</p>	<p>Estratégia 5: Difundir a educação ambiental visando à segregação dos resíduos na fonte geradora para facilitar a coleta seletiva com a participação de associações e cooperativas de catadores e o estímulo à prevenção e redução da geração de resíduos, promovendo o consumo sustentável.</p> <p>Estratégia 6: Incentivar a reutilização e reciclagem, por parte do consumidor, do setor público e privado, promovendo ações compatíveis com os princípios da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, incentivando a separação de resíduos orgânicos compostáveis, recicláveis e rejeitos.</p> <p>Estratégia 7: Implementar critérios para impulsionar a adoção das compras públicas sustentáveis no âmbito da administração pública, capacitando os setores licitantes para a especificação correta dos materiais licitados.</p> <p>Estratégia 8: Incentivar os setores industriais, empresas, empreendimentos econômicos solidários, inclusive cooperativas e associações de catadores a ampliarem seu portfólio de produtos e serviços sustentáveis, induzindo, com essa dinâmica, a ampliação de atividades reconhecidas como “economia verde” (<i>green economy</i>) ou de baixo carbono.</p> <p>Estratégia 9: Criar e promover campanhas publicitárias de âmbito Municipal que divulguem conceitos, práticas e as ações relevantes ligadas ao tema junto à sociedade civil, incentivando a redução, reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos urbanos.</p> <p>Estratégia 10: Promover a capacitação em educação para a sustentabilidade, em conformidade com a PNEA (1999), a fim de apoiar os gestores públicos, setor empresarial, sociedade civil e lideranças comunitárias na compreensão dos conceitos e implementação da PNRS, bem como das diretrizes, estratégias e metas dos planos nacional e estadual, para colocar em prática a gestão integrada dos resíduos sólidos.</p> <p>Estratégia 11: Desenvolver e valorizar tecnologias sociais e inclusão produtiva para o avanço e fortalecimento das associações e cooperativas dos catadores no ciclo dos materiais recicláveis, por meio do pagamento dos serviços ambientais.</p> <p>Estratégia 12: Apoiar a realização de estudo objetivando o aproveitamento energético da parcela seca não reciclável e dos rejeitos da parcela úmida não compostáveis ou não processáveis em biodigestores, que podem ser transformados em CDR – Combustível Derivado de Resíduo.</p>
<p>3. Qualificar e fortalecer a organização para a inclusão socioeconômica dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis</p>	<p>Estratégia 1: Fortalecer a participação de cooperativas e outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, como prestadores de serviços devidamente contratadas pelas administrações públicas municipais e desenvolvidas em parceria com os atores da sociedade civil.</p> <p>Estratégia 2: Implantar os sistemas de logística reversa pós-consumo, de forma progressiva, de acordo com o que for definido nos Acordos Setoriais, termos de compromisso ou regulamentos.</p> <p>Estratégia 3: Induzir a adoção de critérios competitivos e do emprego de produtos que tenham na sua composição materiais reutilizados e reciclados, nas compras públicas e privadas, bem como incentivos fiscais para aquisição destes produtos.</p> <p>Estratégia 4: Contribuir com a emancipação das organizações de catadores, promovendo o fortalecimento das cooperativas, associações e redes, incrementando sua eficiência e sustentabilidade, principalmente no manejo e na comercialização dos resíduos, e também nos processos de aproveitamento e reciclagem.</p> <p>Estratégia 5: Promover a criação de novas cooperativas e associações de catadores, priorizando a mobilização para a inclusão de catadores informais nos cadastros e ações para a regularização das entidades existentes.</p> <p>Estratégia 6: Promover a articulação em rede das cooperativas e associações de catadores.</p>

Continua

Conclusão

Diretrizes de trabalho	Estratégias de implementação
<p>3. Qualificar e fortalecer a organização para a inclusão socioeconômica dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis</p>	<p>Estratégia 7: Incentivar ações de capacitação técnica e gerencial permanente e continuada dos catadores e dos membros das cooperativas e associações, de acordo com o nível de organização, por meio da atuação de instituições técnicas, de ensino, pesquisa e extensão, terceiro setor e movimentos sociais, priorizando as associações, cooperativas e redes de cooperativas de catadores.</p> <p>Estratégia 8: Desenvolver ações de educação ambiental especificamente aplicadas às temáticas da separação na fonte geradora, coleta seletiva, atuação das associações, cooperativas e redes de cooperativas de catadores junto à população envolvida (empresas, consumidores, setores públicos, dentre outros), visando o fortalecimento da imagem do catador e a valorização de seu trabalho na comunidade com ações voltadas à defesa da saúde e integridade física do catador, observando as especificidades regionais.</p> <p>Estratégia 9: Induzir o encaminhamento prioritário dos resíduos secos para cooperativas e/ou associações de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis.</p> <p>Estratégia 10: Envolver o setor empresarial e consumidores no processo de segregação, triagem para a destinação às associações e cooperativas de catadores por meio da coleta seletiva solidária ampliando a reutilização e reciclagem, promovendo ações compatíveis com os princípios da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e da logística reversa.</p> <p>Estratégia 11: Incluir a diretriz de separação de todos os resíduos gerados no estabelecimento no processo de licenciamento ambiental municipal, buscando priorizar a destinação dos recicláveis para as organizações de catadores sediadas no município.</p> <p>Estratégia 12: Promover a capacitação de cooperativas para elaboração e gestão de projetos, visando captação de recursos.</p> <p>Estratégia 13: Estudar a adoção de tecnologias de triagem mecanizadas como forma de aumentar a produtividade na separação, aumentar a quantidade de resíduos enviados para a indústria e fortalecer a cadeia de reciclagem.</p>
<p>4. Induzir a compostagem, o aproveitamento energético do biogás gerado em biodigestores ou em aterros sanitários e outras tecnologias visando à geração de energia a partir da parcela úmida do RSU</p>	<p>Estratégia 1: Elaborar cartilhas e manuais orientadores bem como realizar atividades de capacitação dos gestores públicos, associações, cooperativas de catadores, organizações da sociedade civil, comunidade em geral, sobre a importância de uma adequada segregação na fonte geradora e tratamento por compostagem domiciliar e as oportunidades de aproveitamento dos materiais dela decorrentes.</p> <p>Estratégia 2: Incentivar a compostagem domiciliar como destino do resíduo orgânico.</p> <p>Estratégia 3: Induzir e incentivar os grandes geradores tais como supermercados, atacadistas, Ceasa, condomínios, órgãos governamentais, eventos e comerciantes para que priorizem a reciclagem dos resíduos úmidos.</p> <p>Estratégia 4: Promover ações de educação ambiental formal e não formal especificamente aplicadas à temática da compostagem, incentivando a prática correta de separação dos resíduos orgânicos e das diferentes modalidades de compostagem domiciliar.</p>
<p>5. Fortalecer a gestão do serviço público de limpeza urbana e manejo de RSU por meio adequado da cobrança dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos</p>	<p>Estratégia 1: Formatar e implementar modelos adequados de cobrança de forma a garantir a sustentabilidade econômico financeira do sistema de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.</p>
<p>6. Fortalecer a correta gestão de resíduos nos serviços de saúde</p>	<p>Estratégia 1: Intensificar as ações de fiscalização quanto ao gerenciamento dos resíduos das unidades de serviços de saúde.</p> <p>Estratégia 2: Viabilizar alternativa para encaminhamento dos resíduos perfuro cortantes gerados nos domicílios</p>

Fonte: Curitiba (2017).

### 5.1.2 Custos

Os serviços de limpeza pública de Curitiba são terceirizados e são contratados através de uma licitação de acordo com a Lei nº8.666/1993. Curitiba está passando por dois novos processos licitatórios (segundo semestre 2018), sendo um de emergência para suprir o intervalo do processo de encerramento de um e a contratação de um novo.

A composição do orçamento básico associa as licitações da limpeza pública e considera o histórico dos serviços proporcionados com seus respectivos quantitativos: equipamentos, mão de obra, consumo, quilometragem, produção.

A organização dos custos é feita a partir do conjunto de planilhas que são compreendidas por todos os recursos materiais e humanos exigidos no edital para a execução dos serviços. Com base nos recursos especificados e seus custos estimados (no mínimo três orçamentos e acordo coletivo da categoria para a mão de obra) calcula-se o preço aproximado dos serviços (CURITIBA 2017).

O Município contrata a empresa por meio de concorrência pública do tipo menor preço. A Secretaria Municipal de Finanças – Controladoria e o Departamento de Limpeza Pública exercem o acompanhamento sistemático das especificações dos serviços, formatação de preços e da estrutura de custos, garantindo que os serviços sejam executados conforme contratados tanto técnica quanto economicamente (CURITIBA 2017).

O quadro 56 apresenta os custos unitários dos principais serviços de gestão e limpeza pública disponibilizadas pelo município.

**Quadro 56 - Custos Unitários dos Serviços de gestão de resíduos e limpeza pública**

<b>Serviço</b>	<b>Unidade</b>	<b>Ano</b>	<b>Custo (reais)</b>
Custo coleta e transporte	Tonelada	2018	177,97
Disposição final em aterro sanitário	Tonelada	2018	72,89
Tratamento e disposição da coleta de resíduos tóxicos domiciliares	Kg	2015	1,59
Varrição Manual	Km	2015	147,74
Varrição Mecanizada	Km	2015	88,22
Custo per capita da limpeza urbana por ano	Ano	2015	136,38

Fonte: Aatoria própria (2019).

### 5.1.3 Coleta

Curitiba possui uma coleta diferenciada, ou seja, os resíduos são separados em dois tipos os recicláveis secos e os demais resíduos. A coleta dos resíduos comuns e rejeitos é composta por: papéis sanitários, restos de alimentos, entre outros, procedentes das residências

e comércios que geram até 600 litros de resíduos semanalmente, coletados porta a porta ou de forma indireta (CURITIBA 2017).

A coleta do resíduo comum é a convencional e realizada por 68 caminhões compactadores, compostos por um motorista e três coletores, divididos em 236 setores de coleta, sendo 108 setores diurnos e 128 noturnos (CURITIBA, 2017). A coleta diurna inicia às 7:00 horas e a noturna às 19:00 horas. Cada caminhão percorre cerca de 41km por dia.

O plano de coleta convencional porta a porta foi elaborado a partir do tipo de equipamento utilizado, frequência de coleta, estimativa de volume distância do local de destinação final, tempo de descarga, trânsito, topografia, legislação de tráfego rodoviário, carga horária das equipes de coleta, otimização da frota (CURITIBA, 2017).

A coleta indireta dos resíduos úmidos é a forma alternativa da coleta regular em locais de difícil acesso, sendo realizado por quatro motoristas, quatro coletores, quatro caminhões poliguindastes e 80 caçambas estacionárias que são removidas três vezes por semana ou de acordo com a demanda (CURITIBA, 2017).

A coleta indireta também dá suporte ao serviço de limpeza nas comunidades, através de cinco equipes de coleta de entulhos formadas por um motorista, dois coletores e um caminhão carroceria. A empresa prestadora do serviço é remunerada mensalmente pelo número de equipes e coleta uma média de 650 toneladas/mês (CURITIBA, 2017).

A Coleta Seletiva de recicláveis, ou seja, resíduos potencialmente recicláveis como papéis, plásticos, metais e vidros atende a 100% do município e são coletados nos serviços de coleta porta a porta através do Programa Lixo que não é Lixo, além dos Pontos de Troca do Programa Câmbio Verde e nas Estações de Sustentabilidade (CURITIBA, 2017).

As coletas seletivas são realizadas por 59 equipes compostas de um caminhão baú, um motorista e dois coletores, no total há 34 caminhões baú, 59 motoristas e 146 coletores (CURITIBA, 2017). Os recicláveis são previamente separados na fonte geradora, ou seja, nas residências ou comércios que produzam uma quantidade máxima de 600 litros por semana.

O plano de coleta de recicláveis do Município foi elaborado a partir de variáveis como: tipo de equipamento utilizado, tempo de descarga, frequência de coleta, distância das unidades de valorização, trânsito, estimativa de volume, topografia, carga horária das equipes de coleta, otimização da frota (CURITIBA, 2017).

O plano está dividido em 171 setores de coleta, sendo 89 setores diurnos que começa às 7:00 horas e 81 setores vespertinos que iniciam 16:00 horas e um setor noturno diário que funciona depois da 19:00 horas no anel central (CURITIBA, 2017).

As ações de educação ambiental e campanhas de mídia para incentivar a população a separar os recicláveis são o SE-PA-RE de 2006 e o REDUZA, REUTILIZE, RECICLE de 2014, que buscam fazer o morador refletir e reduzir a sua geração, através de um consumo consciente (CURITIBA, 2017).

As campanhas são transmitidas através de propagandas na TV, mídia impressa, mobiliário urbano, ônibus do sistema de transporte e caminhões de coleta, além de reduzir e reutilizar, a orientação é que apenas papel, plástico, vidro e metal sejam encaminhados para a coleta seletiva (CURITIBA, 2017).

A Estação de Sustentabilidade é um local preparado para entrega voluntária de resíduos recicláveis por moradores que vivem num raio de 300 metros do local, o modelo busca envolver os cidadãos na gestão dos resíduos, aperfeiçoando a coleta seletiva e criando um mecanismo de inclusão social, ao encarregar a administração dos resíduos para associações de catadores (CURITIBA, 2017).

As estações podem ser classificadas como: Tipo um recebem 12 tipos de materiais recicláveis, como vidro incolor e colorido, papel branco, papelão, papel colorido, embalagem longa vida, plásticos, rótulos, tampas e garrafas pet, além de latas de alumínio e outros metais;

Tipo dois possui um container igual ao tipo um, porém acrescida de caçambas para resíduos da construção civil e resíduos vegetais.

Tipo três Parques de reciclagem (aprimoramento dos barracões do Ecocidadão); Tipo quatro locais previamente determinados para recebimento de resíduo da construção civil; Tipo cinco caminhão com container da Estação tipo um para coleta em grandes eventos (CURITIBA, 2017).

A primeira Estação implantada foi uma Tipo um em 2014 no bairro Boa Vista com uma capacidade de armazenamento de 5.700 litros. O Quadro 57 apresenta a data de instalação e a localização de outras Estações de Sustentabilidade (CURITIBA, 2017).

**Quadro 57** - Local das Estações de Sustentabilidade implantadas em Curitiba

<b>Nome</b>	<b>Instalação</b>	<b>Tipo</b>	<b>Localização</b>	<b>Bairro</b>
Estação Boa Vista	28/11/2014	TIPO 1	Esquina das ruas Flavio Dallegrave e Jovino de Rosário	Boa Vista
Estação Santa Cândida	04/03/2015	TIPO 1	Esquina das ruas João Gbur, Oswaldo Portugal Lobato e Nicolau Scheffer	Santa Cândida
Estação Tingui	22/04/2015	TIPO 1	Esquina da Avenida Paraná com Rua Joaquim Nabuci	Tingui
Estação Guabirota	18/05/2015	TIPO 1	Esquina da Avenida Senador Salgado Filho com a Linha Verde, em frente ao Horto Municipal do Guabirota	Guabirota
Estação Vila Verde	19/09/2015	TIPO 2	Rua Lydio Paulo Betega esquina com Rua Marco Campos	CIC
Estação Sítio Cercado	04/11/2015	TIPO 2	Esquina da Rua Guaçuí com Travessa Eli Volpato	Sítio Cercado
Estação CIC	17/02/2016	TIPO 2	Esquina da Rua Cid Campello com a Rua João Bettega	CIC
Estação Cajuru	13/05/2016	TIPO 1	Esquina da Rua Florianópolis com a Rua Fabiano Barcik	Cajuru
Estação CIC-Mairi	23/06/2016	TIPO 1	Rua Paulo Roberto Biscaia (Parque Mairi)	CIC
Estação Fazendinha	4/09/2016	TIPO 1	Rua Frederico Lambertucci com Rua Pedro Floriano Sobrinho	Fazendinha
Estação Capão Raso	29/06/2016	TIPO 1	Rua João Rodrigues Pinheiro entre as Ruas Francisco de Camargo Pinto e Fátima Bark	Capão Raso

Fonte: Curitiba (2017).

De acordo com a entrevista, Curitiba já teve problemas com as suas duas primeiras Estações de Sustentabilidade, por motivos de vandalismo e segregação errada de resíduos causadas pela falta de divulgação do programa e instrução com a população.

Inicialmente o Programa Câmbio Verde (PCV) era designado como Programa Compra do Lixo da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, que efetuava a troca de lixo orgânico por vale-transporte. O presente Programa nasceu em junho de 1991, durante uma grande safra de repolho na Região Metropolitana de Curitiba, notou-se que o vale transporte poderia ser substituído por alimentos e com a inclusão do lixo reciclável na troca, uma ação conjunta entre as Secretarias de Abastecimento e do Meio Ambiente (CURITIBA, 2017).

O PCV é constituído por ações que envolvem dimensões educativas voltadas para o desenvolvimento sustentável, a preservação do meio ambiente, a geração de renda, incentivo à organização de produtores e o combate à pobreza fome e desperdício (CURITIBA, 2017).

A compra institucional ocorre entre as Associações de Produtores da Região Metropolitana e a Federação de Produtores do Paraná (FEPAR), com o recurso do orçamento da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (CURITIBA, 2017).

Os 100 pontos de troca (ano de referência 2013) estão situados em logradouros públicos, funcionando quinzenalmente e a troca é feita seguindo a seguinte proporção para

cada quatro quilos de material reciclável o participante recebe um quilograma de hortifrútis. Desde 2007 pode ser trocado também o óleo vegetal e animal (dois litros de óleo acondicionado em garrafa pet) por um kg de alimento, com funciona de terça a sexta-feira com seis caminhões baús, seis motoristas e 30 coletores, que coletam cerca de 3.000 toneladas de resíduos recicláveis por ano (CURITIBA, 2017).

A Fundação de Ação Social (FAS) é a responsável pelo Programa Disque Solidariedade, o qual capta produtos doados e que podem ser reaproveitados por famílias e pessoas em situação de vulnerabilidade social, atendidas nos Centros de Referência de Assistência Social (CRAS).

As doações são feitas a partir da chamada do serviço de recolhimento à Central 156 informando sobre os produtos e a solicitação é encaminhada à FAS que agenda a coleta com o doador. Mensalmente são recebidas 700 solicitações que são atendidas por três caminhões baús e dois caminhões carroceria e uma Kombi coletando móveis, madeiras, equipamentos de uso doméstico, roupas e calçados em condições de uso, bicicletas, brinquedos, cadeiras de roda, camas adaptadas para idosos ou pessoas com necessidades especiais, objetos de esporte e lazer em bom estado, entre outros (CURITIBA, 2017).

O resíduo vegetal (podas) é coletado e encaminhado para beneficiamento com a finalidade de ser transformado em insumo energético para fornos/caldeiras ou para ser utilizado como material de estiva para tráfego de equipamentos sobre partes do aterro com baixa capacidade de suporte ou como elementos acessórios das vias de acesso a frente de trabalho (CURITIBA, 2017).

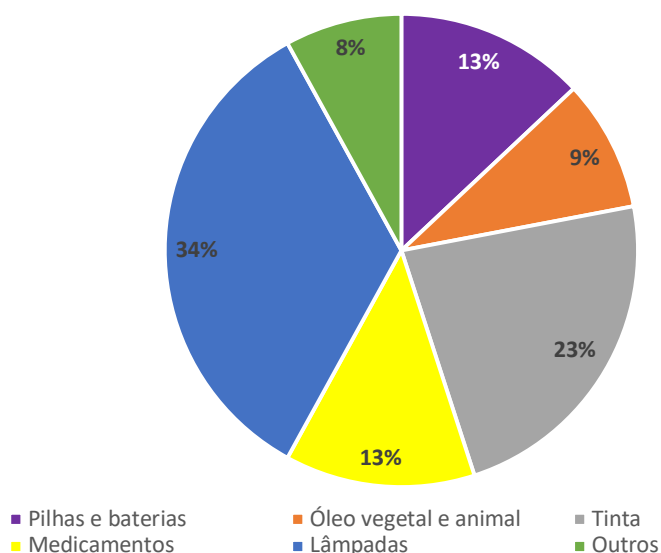
Curitiba realiza por meio de uma empresa terceirizada a coleta de cadáveres de animais através da Central 156 e conta com um caminhão basculante de 12 m<sup>3</sup> com munk, dois caminhonetes F-350, três motoristas e seis coletores. Em 2012 foram coletadas 148 toneladas de cadáveres de animais, encaminhados para tratamento e disposição final em unidades licenciadas (CURITIBA, 2017).

Há ainda o Programa de Coleta Especial de Lixo Tóxico Domiciliar (PCELTD) que funciona desde 1998 e recebe resíduos perigosos residências conduzindo-os para destinação em aterro industrial licenciado. Os resíduos são recebidos pelos caminhões do PCELTD que são equipados com baú e tambores diferenciados para armazenar resíduos perigosos como: baterias, pilhas, embalagens de solventes, de inseticidas, cartucho de tinta de impressora, lâmpadas fluorescentes, medicamentos vencidos, óleo, resíduos de tintas, entre outros (CURITIBA, 2017).

Os óleos de origem vegetal e animal são enviados a Unidade de Valorização de Recicláveis que comercializam com empresas que possuem licença ambiental para fabricação de sabão, biodiesel, óleo lubrificante, adubo ou outros produtos. A coleta segue um calendário anual e o caminhão permanece nas proximidades de um dos 24 terminais de ônibus da cidade uma vez por mês, no horário das 07:30 às 15:00 horas. A empresa contratada responsável por este serviço, incluindo a coleta transporte, tratamento e destinação final, é remunerada por equipe com um valor atual de R\$ 27.339,42 reais por mês (CURITIBA, 2017).

Em 2012, foram coletados aproximadamente 18.500 litros destes produtos e o gráfico 17 apresenta a composição gravimétrica média dos resíduos de 1998 a 2013.

**Gráfico 17** - Composição dos Coleta Especial de Lixo Tóxico Domiciliar de 1998 a 2013



Fonte: Curitiba (2017).

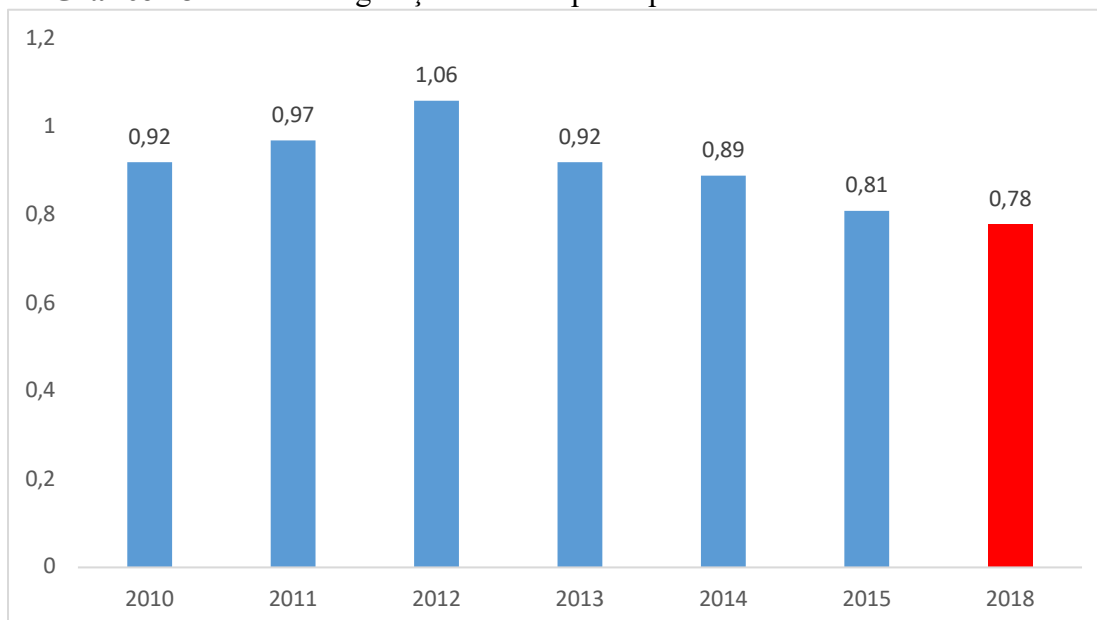
Além da PCELTD os remédios podem ser coletados pelo Programa Medicamento Não é Lixo: Descarte no Lugar Certo e os seus objetivos são informar e sensibilizar a população sobre os riscos do descarte inadequado de medicamentos, trazendo orientações, além de levantar informações para subsidiar a elaboração do Plano de Logística Reversa Nacional e Estadual. O projeto contou com 43 pontos de coleta, entre farmácias e unidades de saúde, que passaram a receber resíduos de medicamentos de origem domiciliar (CURITIBA, 2017).

De acordo com a entrevista, para o ano de 2018 a coleta total dos resíduos sólidos urbanos abrange 100% do município de Curitiba e na média são coletados 1500 toneladas diariamente, ou seja, são gerados aproximadamente 800 gramas de resíduos por habitante, dado próximo daquele fornecido para a capital no ano de 2015 pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento.



O gráfico 18 apresenta a quantidade em quilos gerados por habitante em Curitiba nos últimos anos, sendo que de 2010 a 2015 os dados são do SNIS e o de 2018 em vermelho é o dado obtido na entrevista.

**Gráfico 18** – Média da geração de RSU per capita de Curitiba nos últimos anos



Fonte: Adaptado de Silva (2016).

#### 5.1.4 Destino e tratamento

Os materiais recicláveis possuem primariamente dois destinos: a Unidade de Valorização de Recicláveis (UVR) ou Projeto Reciclagem Inclusão Total (Ecocidadão).

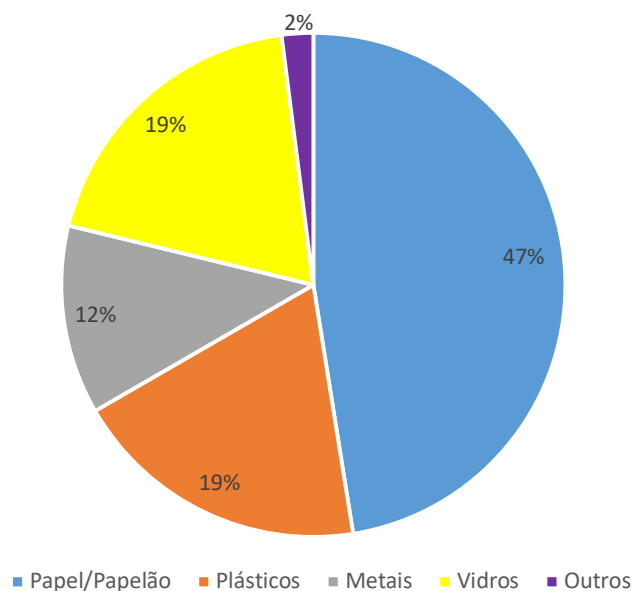
De acordo com Curitiba (2017) a UVR é uma instalação responsável pela triagem e comercialização de parte dos resíduos coletados no Programa Lixo que não é Lixo e Câmbio Verde, está localizada no Município de Campo Magro e é administrada pelo Instituto Pró-Cidadania de Curitiba (IPCC).

O Instituto atua de forma integrada com entidades assistenciais no município, sendo uma associação civil sem fins lucrativos, de caráter assistencial, beneficente e cultural. Os recursos adquiridos com as comercializações são destinados aos projetos sociais mantidos pelo Instituto (CURITIBA, 2017).

A Unidade possui uma área total de 23.000 m<sup>2</sup>, sendo 6.000 m<sup>2</sup> de área coberta e operando de segunda-feira a sábado com 101 colaboradores no primeiro turno e 78 no segundo. No ano de 2014 a UVR recebeu 9.223.067 toneladas de resíduos e com um índice de

rejeito de 40%. O gráfico 19 demonstra a composição gravimétrica do material recebido pela Unidade no ano de 2014.

**Gráfico 18** - Composição gravimétrica do material recebido pela UVR no ano de 2014



Fonte: Curitiba (2017).

Outro destino para os recicláveis é o Projeto Ecocidadão, localizado em Parques de Recepção de Recicláveis, espaços dotados de infraestrutura física, gerencial e administrativa para recepção, classificação e venda do material coletado, organizados em um sistema de associações ou cooperativas (CURITIBA, 2013).

O projeto é um programa de inclusão social dos catadores de materiais recicláveis, que estimula a formação de cooperativas e oferece espaço e equipamentos adequados para manuseio e comercialização dos resíduos (CURITIBA, 2013).

O Ecocidadão foi uma iniciativa da Prefeitura para reverter um antigo problema que envolvia a coleta informal e saúde pública que iniciou em 2007 com a parceria entre o Município e outros órgãos como: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Fundação de Ação Social, Associação Aliança Empreendedora, Fundação AVINA e o Movimento Nacional dos Catadores (CURITIBA, 2013).

Cada associação participante recebe remuneração conforme a quantidade de material recebido, valor que é utilizado para suprir as despesas e o lucro vem da venda dos materiais separados nos barracões (CURITIBA, 2017).

A partir de abril de 2015 a Cooperativa de Trabalho Solidária e Popular – Rede de Transformação e Beneficiamento de Materiais Recicláveis – CATAPARANÁ foi declarada

pela Comissão Especial de Credenciamento apta a gerir, receber, triar e comercializar os resíduos dos Parques de Reciclagem do Programa Ecocidadão (CURITIBA, 2017).

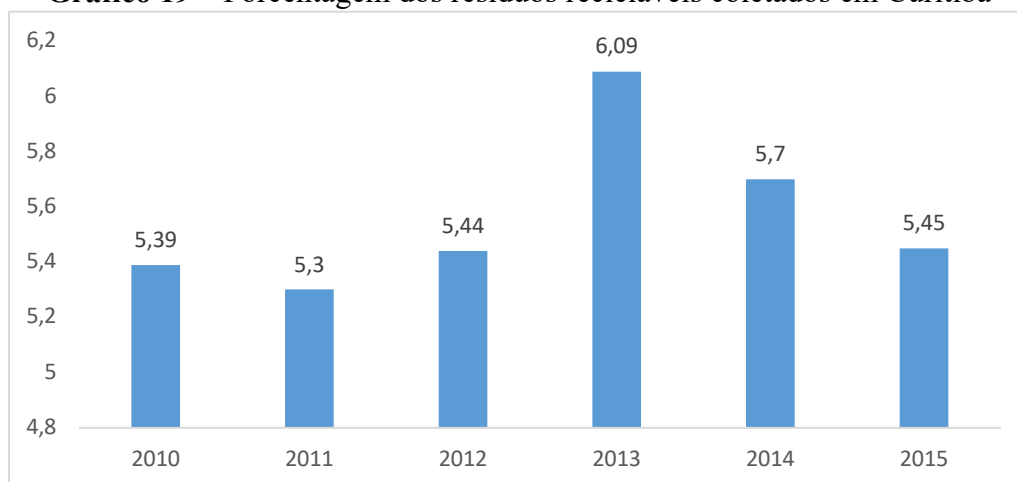
De acordo com entrevista, estão em operação 40 associações com aproximadamente 1000 cooperados, o que dá uma média de 25 pessoas por associação. A renda pode variar de 200 a 3000 reais, mas a média fica entre 1200 a 1500 reais por pessoa e um volume de recicláveis separados de 9200 toneladas por ano. No final do ano de 2018 foi aberto o credenciamento para novas associações.

Em 02 de julho de 2012, foi implantado no bairro Cidade Industrial de Curitiba a Usina de Beneficiamento de PET (UPET), fruto de uma parceria entre o Banco do Brasil, Fundação Banco do Brasil, Instituto Pró Cidadania de Curitiba e a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Parceiros do Meio Ambiente (ACAMPA). A capacidade de processamento da UPET é de 60 toneladas de garrafas PET's por mês, porém recebe 53 toneladas mensalmente (CURITIBA, 2017).

O objetivo da Usina foi beneficiar os catadores que integram o programa Ecocidadão, através da transformação do PET em “flake” (flocos de plástico) oriundos de algumas associações de catadores de materiais recicláveis do Programa Ecocidadão e pela UVR. Tal beneficiamento agrega valor ao material para comercialização e representa um ganho direto na renda dos catadores. O produto final é utilizado na indústria automobilística, têxtil e alimentícia (CURITIBA, 2017).

O gráfico 20 apresenta o percentual dos recicláveis coletados em relação ao total de resíduos sólidos urbanos domiciliares gerados.

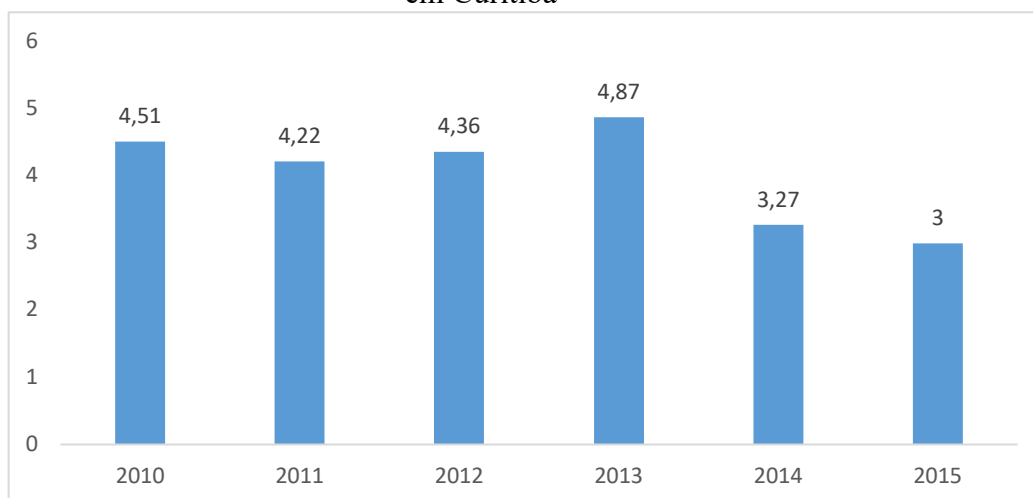
**Gráfico 19 – Porcentagem dos resíduos recicláveis coletados em Curitiba**



Fonte: Silva (2016).

O gráfico 21 apresenta a quantidade de resíduos que foram reaproveitados da coleta seletiva, a parte que não é aproveitada é encaminhada para o aterro sanitário.

**Gráfico 20** - Percentual de resíduos recicláveis reaproveitados em relação ao total coletado em Curitiba



Fonte Silva (2016).

Desta forma, o gráfico 21 demonstra que a maior parte dos resíduos sólidos gerados nos últimos anos foram destinados aos aterros sanitários. Existiram materiais que poderiam ser reaproveitados caso a separação e o acondicionamento não fosse errado.

### 5.1.5 Disposição final

Atualmente a disposição final de Curitiba e dos seguintes municípios: Agudos do Sul, Adrianópolis, Almirante Tamandaré, Araucária, Bocaiúva do Sul, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Campo Magro, Colombo, Contenda, Itaperuçu, Mandirituba, Quatro Barras, Quitandinha, Piên, Pinhais, Piraquara, São José dos Pinhais, Tijucas do Sul e Tunas do Paraná é feito nos aterros privados da Estre Ambiental S/A e da Essencis Soluções Ambientais S/A (CONRESOL, 2018).

O aterro sanitário da Essencis está localizado no bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC) e da Estre no Município de Fazenda Rio Grande o qual recebe a maior parte dos resíduos da coleta domiciliar e é remunerado mensalmente pela quantidade total de resíduos depositados.

No ano de 2017 foram dispostos nos dois aterros um total de 5.978.837, 98 toneladas de resíduos, sendo que 68% foi gerado pela cidade de Curitiba, ou seja, 4.065.609,16 toneladas (CONRESOL, 2018).

Uma análise gravimétrica dos resíduos destinados ao Aterro Sanitário da Estre Ambiental S/A revelou que a maior parte dos resíduos dispostos são orgânicos (mais de 40%) (CONRESOL, 2018) e de acordo com a entrevista é o mesmo valor encontrado nos resíduos domiciliares de Curitiba. O resultado da análise gravimétrica do aterro na Fazenda Rio Grande é apresentado no quadro 58.

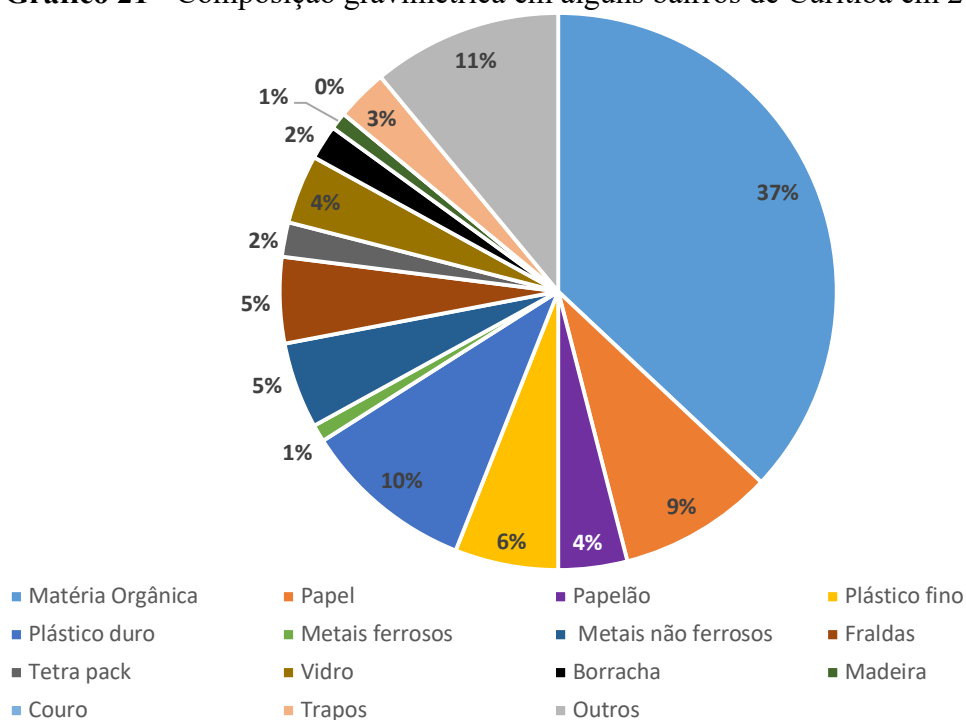
**Quadro 58** - Composição gravimétrica dos resíduos no aterro

Material	Percentual	Material	Percentual
Alumínio	0,54%	Plástico duro	4,18%
Metais ferrosos	0,74%	Plástico filme	13,04%
Papelão	4,55%	Isopor e espumas	0,95%
Papel misto	2,05%	Trapos	4,98%
Papel branco	2,02%	Borracha	0,53%
Jornal e revista	1,71%	Madeira	1,33%
Tetra pack	1,28%	Pedra	0,55%
Higiênicos	9,34%	Vidro	2,58%
Fralda	6,51%	Lixo eletrônico	0,80%
Pet cristal	1,24%	Orgânicos	40,14%
Pet colorida	0,91%	Total	100%

Fonte: Conresol (2018).

O gráfico 22 apresenta a composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de alguns bairros de Curitiba para o ano de 2015, compostos por 15 classes.

**Gráfico 21** - Composição gravimétrica em alguns bairros de Curitiba em 2015



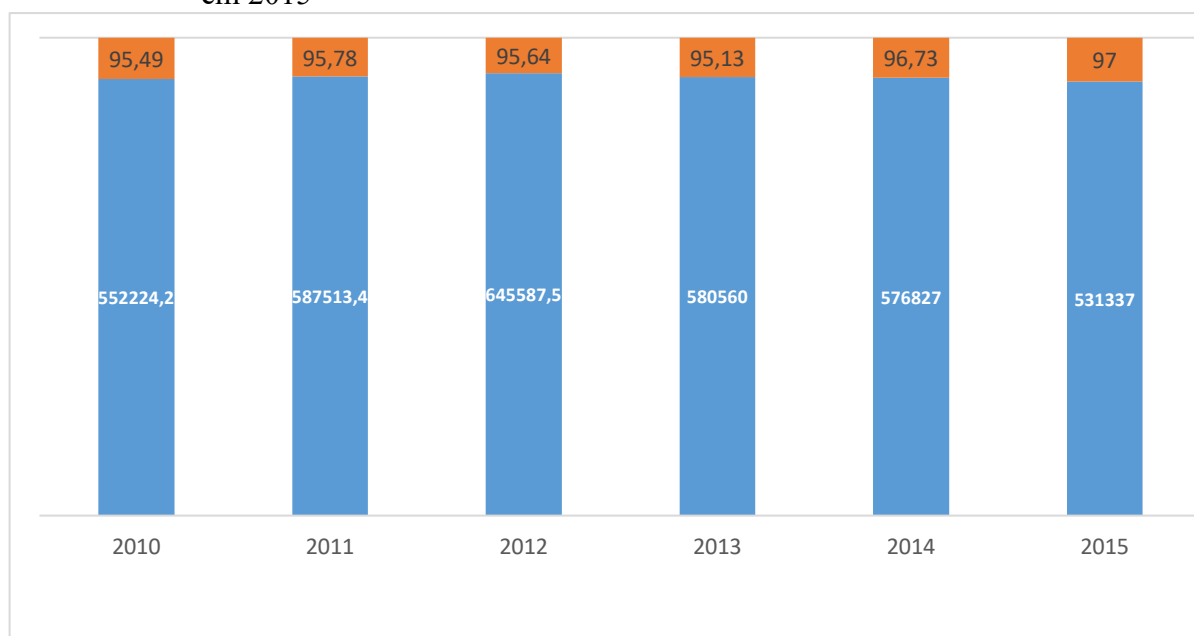
Fonte: Autoria própria (2019).

Comparando as duas composições fica evidente que o material seco, ou seja, aqueles que poderiam ser beneficiados pelo Projeto Ecocidadão e pela Unidade de Valorização de Recicláveis ainda compõem os resíduos que são depositados no aterro sanitário.

Entre os materiais que compõem a composição gravimétrica, a matéria orgânica representa a maior parte dos resíduos destinados ao aterro, representando cerca de 40% do volume. Outro problema a ser tratado são as fraldas que representam cerca de 5% do total de resíduos aterrados.

O gráfico 23 apresenta a quantidade em toneladas e o percentual dos resíduos sólidos urbanos domiciliares depositadas no aterro sanitário desde a implantação da PNRS em 2010 até o ano de 2015.

**Gráfico 22** – Quantidade em toneladas de resíduos destinados ao aterro sanitário de Curitiba em 2015



Fonte: Silva (2016).

### 5.1.6 Qualidade e informações sobre os serviços prestados

A prefeitura faz uma pesquisa periódica de opinião pública através do Instituto Paraná de Pesquisa para saber o grau de satisfação da população em relação ao serviço de limpeza pública e coleta de lixo. Os resultados indicam que a população aprova tanto os serviços de limpeza pública como os serviços de coleta de lixo, ultrapassando 70% e 90% de satisfação nos respectivos serviços (CURITIBA, 2017).

O município disponibiliza canais abertos para que a população encaminhe suas reclamações, solicitações, sugestões, queixas e denúncias. Entre eles está a Central de Atendimento e Informação - 156, cujo objetivo é viabilizar um sistema de comunicação ágil e eficiente entre o cidadão e a Prefeitura, permitindo o atendimento a demanda de informações e solicitações com segurança, confiabilidade e, principalmente, qualidade. Os demais canais são o endereço eletrônico do Departamento de Limpeza Pública ([limpezapub@smma.curitiba.pr.gov.br](mailto:limpezapub@smma.curitiba.pr.gov.br)) e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente ([smma@smma.curitiba.pr.gov.br](mailto:smma@smma.curitiba.pr.gov.br)) (CURITIBA, 2017).

Desde 2002, Curitiba envia os seus dados referente ao Manejo de Resíduos Sólidos ao Ministério das Cidades - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o qual elabora o diagnóstico de análises e comentários. Tais dados são categorizados em Indicadores Gerais, Indicadores sobre a Coleta de Resíduos Sólidos Domiciliares e Públicos, Indicadores sobre a Coleta Seletiva e Triagem, Indicadores sobre Coleta de Resíduos Sólidos de Serviços de Saúde, Indicadores de Serviços de Varrição e Serviços de Capina e roçada (CURITIBA, 2017).

### 5.1.7 Intenções e prazos do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

As metas e o tempo determinado para alcançar as diretrizes específicas do Plano Municipal para os resíduos domiciliares são apresentadas no quadro 59.

**Quadro 59 - Metas do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Curitiba**

<b>Diretrizes específicas</b>	<b>Metas</b>	<b>Prazo</b>
Disposição final ambientalmente adequada de rejeitos	30 % das áreas de passivos ambientais recuperadas e monitoradas	Curto
	70 % das áreas de passivas ambientais recuperados e monitorados	Médio
Redução progressiva dos resíduos sólidos secos dispostos em aterros sanitários	Redução de 30 % de resíduos secos dispostos em aterro sanitário	Curto
	Redução de 37 % de resíduos secos dispostos em aterro sanitário	Médio
	Redução de 42 % de resíduos secos dispostos em aterro sanitário	Longo
Inclusão dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis	Implantação de cinco Parques de Recepção de recicláveis	Curto
	Implantação do número de Parques de Recepção de recicláveis compatível com o número de catadores associados e cooperados	Médio
	40 % de catadores associados ou cooperados com base em cadastro	Curto
	30 % de catadores associados ou cooperados com base em cadastro	Médio
	30 % de catadores associados ou cooperados com base em cadastro	Longo
	Redução de 40 % de resíduos úmidos dispostos em aterro sanitário	Médio
	Redução de 50 % de resíduos úmidos dispostos em aterro sanitário	Longo
Qualificação da Gestão de Resíduos Sólidos	Institucionalização de instrumento apropriado de cobrança para os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos	Curto

Fonte: Curitiba (2017).

## 5.2 Objetivo específico b: Identificar as variáveis que ainda não estão alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos no município estudado

As variáveis utilizadas no modelo são procedentes de uma pesquisa de mestrado (FUGII, 2014) e do trabalho de Silva, Fugii e Santoyo (2017), que avaliaram as ações do poder público municipal de Curitiba diante das políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos para o contexto brasileiro publicado na Revista Brasileira de Gestão Urbana (URBE).

Entre os resultados obtidos os autores destacam que o município possui uma universalização do serviço e presta os serviços básicos de coleta seletiva e disposição final em aterro sanitário (SILVA; FUGII; SANTOYO, 2017).

Entretanto não garantem que a gestão atual seja a ideal, visto que o município não possui um tratamento para os resíduos úmidos, além de possuir uma baixa taxa de reciclagem dos resíduos secos (SILVA; FUGII; SANTOYO, 2017).

Existe a necessidade de novas pesquisas que avaliem a real situação dos serviços prestados nos locais onde são efetuados as separações dos resíduos para o avanço da gestão no município. As variáveis utilizadas nos trabalhos passados foram estabelecidas através de uma avaliação por especialistas com o uso de um questionário, cuja as respostas passaram por um teste de confiabilidade.

A dissertação apresentou as variáveis relacionadas a gestão de resíduos sólidos urbanos de forma geral. No quadro 60 são apresentadas as variáveis e as suas fontes.

**Quadro 60 - Variáveis presentes na gestão de resíduos sólidos urbanos**

Variável	Artigos
Acondicionamento	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); BIDONE (2001); BRASIL (2010b)
População	USEPA(2002); ZANTA; FERREIRA (2003); DIAS <i>et al.</i> (2012); SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); SUZUKI; GOMES (2009); MELO, SAUTTER; JANISSEK (2009); LOBATO; LIMA (2010)
Educação Ambiental	SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); MELO, SAUTTER; JANISSEK (2009); BRASIL (2010c); JACOBI; BESEN (2011)
Coleta	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); USEPA (2002); TCHOBANOGLIOUS; KREITH (2002); DIAS <i>et al.</i> (2012); SANTIAGO; DIAS (2012); BRAGA; RAMOS, (2006); LOBATO; LIMA (2010); ASSOCIAÇÃO... (2010); ASSOCIAÇÃO... (2011); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Consumo Consciente	NUNESMAIA (2002); SANTIAGO; DIAS (2012)
Ciclo de vida do produto	SANTIAGO; DIAS (2012)
Ponto de coleta especial	BRASIL (2010b)
Terceirização	DIAS <i>et al.</i> (2012)
Infraestrutura Urbana	SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); SUZUKI; GOMES (2009)
Cooperativismo	SANTIAGO; DIAS (2012); LOBATO; LIMA (2010)
Política Pública	ZANTA; FERREIRA (2003); SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); JACOBI; BESEN (2011)

Continua

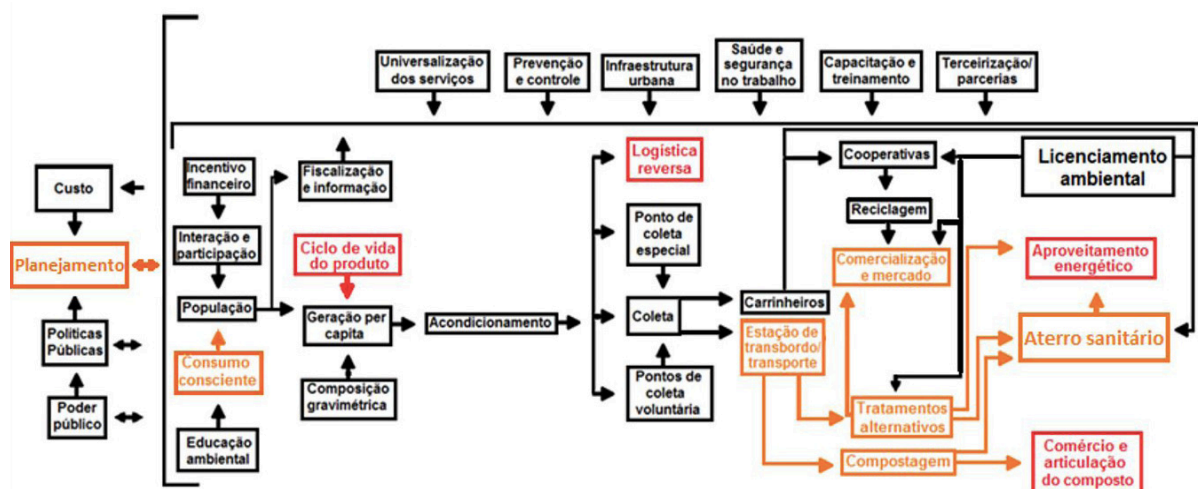


Variável	Artigos
Capacitação e Treinamento	ZANTA; FERREIRA (2003); MESQUITA JÚNIOR (2007); POLAZ; TEIXEIRA (2009)
Carrinheiros	JACOBI; BESEN (2011); SANTIAGO; DIAS (2012)
Custo Coleta Habitante	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); ZANTA; FERREIRA (2003); SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); BRAGA; RAMOS (2006)
Usina de Incineração	USEPA (2002); SCHALCH <i>et al.</i> (2002); COELHO <i>et al.</i> (2011); FADE (2012); FEMA(2012); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Tratamentos alternativos	ZANTA; FERREIRA (2003); BRASIL (2010b); FADE (2012); FEMA (2012)
Licença Ambiental	SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009) FEMA (2012)
Compostagem	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); USEPA (2002); TCHOBANOGLOUS; KREITH (2002); SCHALCH <i>et al.</i> (2002); ZANTA; FERREIRA (2003); SANTIAGO; DIAS (2012); POLAZ; TEIXEIRA (2009); BRAGA; RAMOS (2006); MELO, SAUTTER; JANISSEK (2009); FADE (2012); FEMA (2012); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Reciclagem	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); SCHALCH <i>et al.</i> (2002); USEPA. (2002); TCHOBANOGLOUS; KREITH (2002); ZANTA; FERREIRA (2003); SANTIAGO; DIAS (2012); BRAGA; RAMOS (2006); COELHO <i>et al.</i> (2011); BRASIL(2010c); ABRELPE (2011); JACOBI; BESEN (2011); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Manutenção e Prevenção	SANTIAGO; DIAS (2012)
Universalização dos serviços	MESQUITA JÚNIOR (2007); BRAIL (2010a); BRASIL (2010b); JACOBI; BESEN (2011)
Saúde e segurança no trabalho	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); FERREIRA; DOS ANJOS (2001); SANTIAGO; DIAS (2012)
Aterro sanitário	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); USEPA (2002); TCHOBANOGLOUS; KREITH (2002); ZANTA; FERREIRA (2003); SANTIAGO; DIAS (2012); SUZUKI; GOMES (2009); BRAGA; RAMOS (2006); ABRELPE (2011); COELHO <i>et al.</i> (2011); LOBATO; LIMA (2010); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Geração de energia	UNITED... (2002); COELHO <i>et al.</i> (2011); MESQUITA JÚNIOR (2007); FADE (2012); FEMA(2012); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)
Fiscalização e Informação	SINIR (2010); BRASIL (2010a); BRASIL (2010b); ABRELPE (2010; 2011)
Geração per capita	MESQUITA JÚNIOR (2007)
Ponto de coleta voluntária	BRASIL (2010b)
Logística reversa	BARBIERI; DIAS (2002); BRASIL (2010b); BRASIL (2010c)
Poder público	BRASIL (2010b); BRASIL (2010c); MESQUITA JÚNIOR (2007)
Comercialização/ mercado	DEMAJOROVIC; BESEN; RATHSAM (2006); BRASIL (2010b); ABRELPE (2011)
Planejamento	USEPA (2002); NUNESMAIA (2002); BRASIL (2010a); BRASIL (2010b); BRASIL (2010c)
Transporte e estação de transferência	MONTEIRO <i>et al.</i> (2001); TCHOBANOGLOUS; KREITH (2002); CUNHA; CAIXETA-FILHO (2002); BRASIL (2010b); OTHMAN <i>et al.</i> (2013)

Fonte: Fugii (2014).

Já o trabalho publicado na URBE apresentou um modelo de avaliação da política municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (GIRSU) aplicado ao município de Curitiba. A figura 23 apresenta o modelo publicado.

**Figura 23** - Modelo de avaliação da política municipal de GRSU aplicado à Curitiba



Fonte: Silva, Fugii e Santoyo (2017).

As variáveis em preto são aquelas alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos. A cor laranja significa que há algumas ações sendo realizadas, atendendo parcialmente a PNRS e a cor vermelha expressa as variáveis não alinhadas com a Lei Federal n. 12.305/2010.

O sistema integrado publicado serve de base para o desenvolvimento e proposição de um novo modelo para a gestão de resíduos sólidos urbanos da capital paranaense, que busca alinhar as variáveis em laranja e vermelho demonstradas na figura 23.

As variáveis trabalhadas diretamente ou indiretamente no modelo são: consumo consciente, planejamento, ciclo de vida do produto, logística reversa, tratamentos alternativos, compostagem, transporte, estação de transbordo e aterro sanitário.

### 5.3 Resultado objetivo específico c: Construir um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos para a tomada de decisão

O modelo foi construído com base na metodologia de Dinâmica de Sistemas, além de levar em conta as concepções acerca da economia circular, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os problemas encontrados nas pesquisas passadas e o cenário atual dos resíduos sólidos urbanos do município de Curitiba.

Os trabalhos apresentados cronologicamente: Karavezyris, Timpe e Marzi (2002), Dyson e Chang (2005), Eriksson *et al.* (2005), Sufian e Bala (2007), Feng e Yu (2010), Inghels e Dullaert (2010), Long *et al.* (2012), Matos (2012), Georgiadis (2013), Dace *et al.* (2014), Liu *et al.* (2014), Simonetto (2014), Simonetto e Löblerb (2014), Tozan e Ompad (2015), Tsolakis e Anthopoulos (2015), Babader *et al.* (2016), Elia, Gnoni e Tornese (2016),

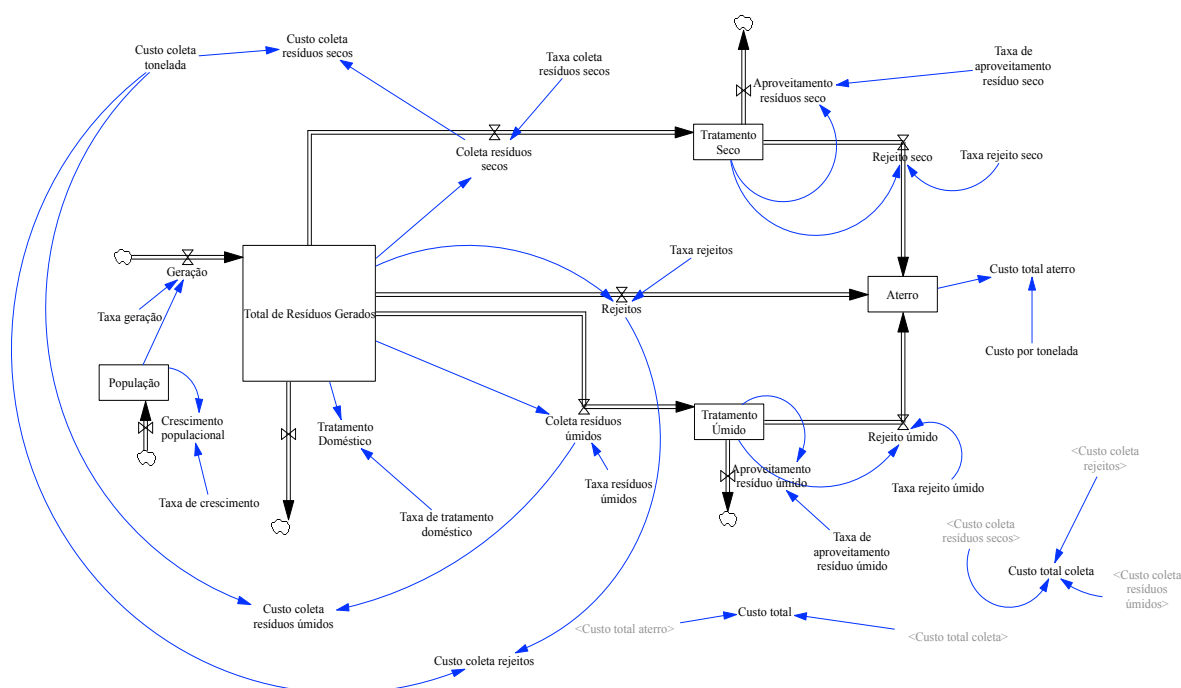
Guo *et al.* (2016), Kolekar, Hazra e Chakrabarty (2016), Sukholthaman e Sharp (2016) e Fan *et al.* (2018) serviram tanto para o desenvolvimento do sistema, como para o progresso dos outros capítulos.

Além destes autores, o curso sobre dinâmica de sistemas ministrado pelo professor doutor Juan Martín Garcia e seus livros Garcia (2003; 2008) ajudou na construção do modelo.

O modelo é a base para desenvolver cenários futuros para um horizonte de 27 anos, possibilitando demonstrar o panorama da gestão a médio e longo prazo, antecipando problemas futuros, apresentando alternativas e auxiliando no planejamento estratégico de políticas públicas futuras e na tomada de decisão.

A figura 24 apresenta o modelo de dinâmica de sistemas construído para a gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares. O êxito de tal sistema depende da sociedade, a qual é responsável pela segregação correta dos materiais e pelo tratamento dos resíduos orgânicos compostáveis em seus domicílios. O modelo apresentado possui um tratamento descentralizado, ou seja, conta com um tratamento domiciliar/comunitário, seguido de um tratamento centralizado que coleta os resíduos em três vias: os úmidos compostáveis, secos e rejeitos. Tal iniciativa reduziria a contaminação dos resíduos secos e úmidos compostáveis pelos rejeitos.

**Figura 24 - Modelo de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares baseado em Dinâmica de Sistemas**



Fonte: Autoria própria (2019).

O atual modelo aplicado em Curitiba possui duas vias de coleta de resíduos: a úmida compostável com rejeitos e a seca que acaba indevidamente misturada com os orgânicos compostáveis e os rejeitos. A via úmida é mesclada de rejeitos, material seco e úmidos compostáveis o que dificulta a possibilidade de tratamento (MASSUKADO, 2008) e que é agravado pela falta de incentivos (HOORNWEG, THOMAS e OTTEN, 1999). Desta maneira os resíduos úmidos e rejeitos com material seco representam hoje 95% dos resíduos gerados e são direcionados diretamente para os aterros sanitários sem nenhum tratamento.

O modelo apresentado utiliza o tratamento dos resíduos úmidos compostáveis de forma descentralizada, seja a nível doméstico ou comunitário. Tal iniciativa evita a entrada de resíduos no serviço de coleta do município, representando uma redução dupla, ou seja, no custo de coleta que é de 177,97 reais por tonelada e no custo do resíduo destinado ao aterro que é de 72,89 reais por tonelada.

O sistema de compostagem ou vermicompostagem possuem baixo custo de investimento e construção em relação aos outros métodos de tratamento, além de serem consideradas limpas, sustentáveis e converter os resíduos em produtos com valor agregado (AMORIN *et al.*, 2016; DA SILVA *et al.*, 2018; DA Silva *et al.*, 2016; LIM; LEE; WU, 2016).

Desta forma, o tratamento pode contribuir para uma gestão de resíduos mais eficiente, devido a inexistência de um melhor sistema tecnológico de tratamento e coleta de resíduos, bem como um sistema de produção de materiais, mudança de hábitos que induzam à reciclagem (COSTA, 2010) e uma segregação e redução dos resíduos na fonte geradora.

Apesar dos rejeitos representarem cerca de 20% dos resíduos gerados, eles não foram simulados e trabalhados nesta tese, a qual foca principalmente no tratamento dos resíduos orgânicos compostáveis. Algumas possibilidades para estes resíduos são suas substituições por materiais úmidos compostáveis ou secos, além de outras tecnologias como as térmicas que também não são abordadas no trabalho.

Entre os tratamentos que exigem calor está a incineração, a qual não é utilizada pelo município no tratamento dos resíduos sólidos urbanos domésticos e nem no modelo. As causas podem ser o elevado custo de investimento, manutenção, operação e monitoramento, além de mão-de-obra especializada; pode necessitar de combustível auxiliar; o sistema pode gerar produtos tão ou mais perigosos quanto o próprio resíduo quando mal operado (MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011).

A incineração e outras formas de recuperação de energia apesar de úteis para reduzir a quantidade de resíduos gerados destinados aos aterros sanitários e as emissões de gases do efeito estufa impedem a reciclagem de materiais (TISSERANT *et al.*, 2017).

Promover a indústria de recursos de reciclagem e de produtos pós-consumo, aumenta a vida útil do aterro sanitário e reduz a necessidade da incineração (JUN; XIANG, 2011).

O modelo apresentado é diferente dos modelos ou discussões expostos nos trabalhos que foram encontrados na pesquisa bibliométrica. Kolekar, Hazra e Chakrabarty (2016) discutiram e revisaram modelos de previsão de geração de resíduos. Dyson e Chang (2005) trabalharam com a geração de resíduos e Feng e Yu (2010) avaliaram a capacidade física de um aterro e o seu custo de gestão.

Babader *et al.* (2016) abordaram o comportamento social e o reuso de embalagens. Guo *et al.* (2016) trabalharam a intervenção para a mudança do comportamento em Baltimore, Estados Unidos e Liu *et al.* (2014) pesquisaram o consumo e o impacto.

Sukholthaman e Sharp (2016) trabalharam a segregação de resíduos em Bangkok, Tailândia e Inghels e Dullaert (2010) analisaram a política de gestão de resíduos domiciliares e o aproveitamento para energia em Flanders, Bélgica.

Georgiadis (2013) discutiu uma rede de reciclagem com o foco no papel da indústria e Karavezyris, Timpe e Marzi (2002) utilizaram duas ferramentas para a previsão da gestão de resíduos sólidos.

Elia, Gnoni e Tornese (2016) avaliaram a coleta de resíduos através do sistema de serviço de produtos e Tozan e Ompad (2015) trabalharam em questões relacionadas a saúde urbana. Já Matos (2012) trabalhou em redes de logística reversa. Fan *et al.* (2018) modelaram a reciclagem em Taiwan e Sufian e Bala (2007) retrataram a gestão de resíduos em Daca, Bangladesh.

Dace *et al.* (2014) analisaram o efeito da política de desenvolvimento de embalagens e Long *et al.* (2012) trabalharam a geração de resíduo plástico em Pequim, China.

Tsolakis e Anthopoulos (2015) abordaram a questão de cidades inteligentes e o desenvolvimento, já Eriksson *et al.* (2005) exploraram a avaliação do ciclo de vida dos produtos.

Simonetto e Löblerb (2014) avaliaram cenário para geração e a disposição de resíduos sólidos urbanos e Simonetto (2014) analisou cenários para o resíduo sólido.

O modelo difere em alguns aspectos dos outros modelos por propor uma descentralização da compostagem, participação da sociedade, a segregação de resíduos em três tipos, a exclusão da incineração, considerando as características do município de Curitiba,

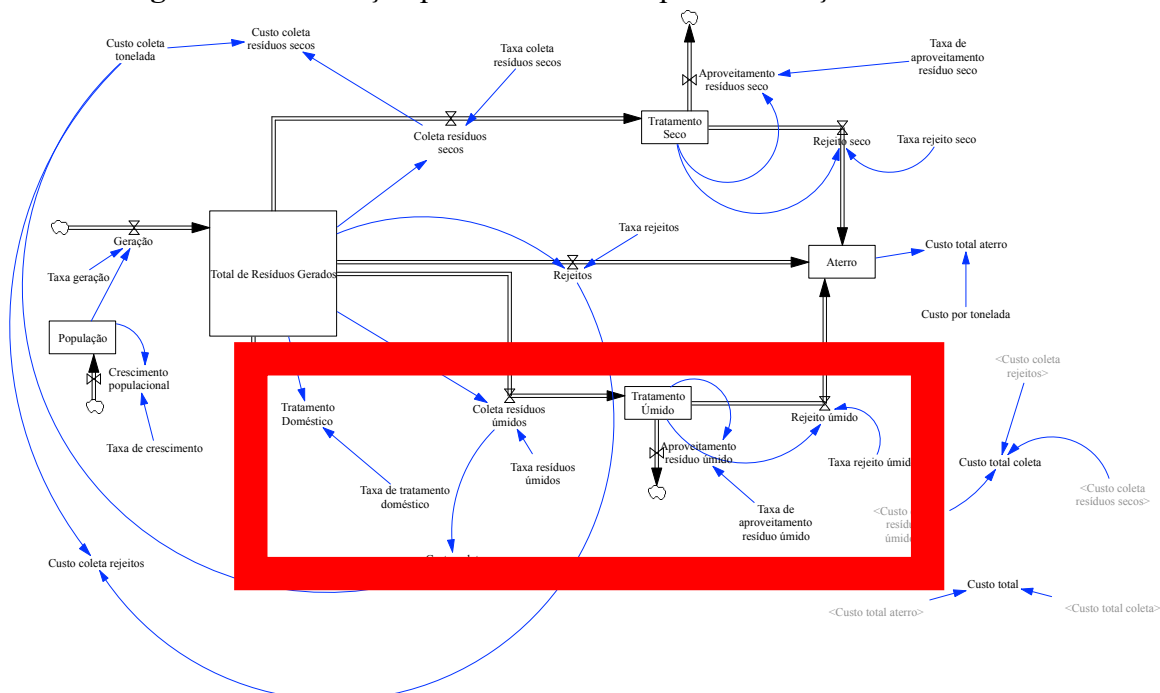
buscando seguir os preceitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil e as concepções da Economia Circular.

Levando em conta estes aspectos foram desenvolvidos cenários distintos para a gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares para Curitiba, além do desenvolvimento do atual sistema ao longo do tempo, que serviu de base para as comparações.

#### 5.4 Resultado objetivo específico d: Aplicar o modelo com base na atual situação da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares em Curitiba

Para a simulação do modelo atual foram utilizadas apenas as variáveis que estão fora da caixa em vermelho, como demonstra a figura 25. Desta forma o panorama previu o desdobramento do atual serviço fornecido em um horizonte de 27.

**Figura 25 - Utilização parcial do modelo pra a simulação do atua cenário**



Fonte: Autoria Própria (2019).

Os dados para a simulação do panorama atual estão presentes no quadro 61, extraídos das entrevistas, Planos Municipais e dados históricos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. É a base para os outros cenários, e o que muda são as taxas de tratamento e reaproveitamento, o ano das mudanças, sendo possível aplicá-lo a outros municípios.

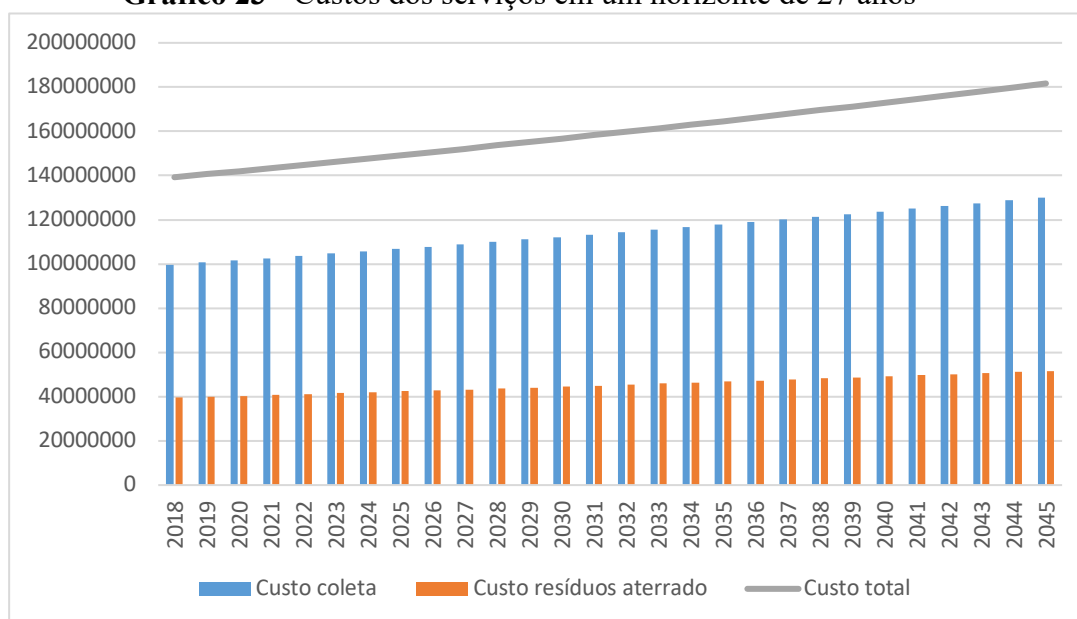
**Quadro 61 - Dados utilizados para a simulação do modelo**

População	1.917.185	Taxa de reciclagem de resíduo seco	0.05%
Taxa de crescimento populacional	0,99	Taxa de reaproveitamento de resíduo seco (Sobre o percentual dos resíduos secos)	0.055%
Geração per capita	0,8 Kg	Taxa de rejeito	0.95%
Taxa de compostagem descentralizada	0%	Custo de coleta e transporte	177,97 por tonelada
Taxa de tratamento úmido centralizado	0%	Custo aterramento	72,89 por tonelada

Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 24 simula em um horizonte temporal os custos do atual modelo até o ano de 2045. Caso o serviço prestado seja mantido, o custo total em um horizonte de 27 anos será de 4.327.274.227 reais, com custos crescentes ao passar dos anos, sem o acréscimo de inflações ou deflações futuras. No ano de 2045 há uma projeção para uma população de 2.501.381 de habitantes com um gasto de 181.631.730,2, cerca de 25% a mais comparando com a população de 2.502.557 habitantes de Belo Horizonte. No ano de 2015 a capital de Minas Gerais gastou 135.202.688,11 reais com a gestão de resíduos sólidos urbanos. Comparando com Fortaleza que com uma população de 2.551.806 em 2013, o município gastou 196.212.026,15 reais. Comparando este dado de Fortaleza com Curitiba, a capital paranaense possui dispêndio de 7,43% menor para uma população similar simulada para o ano de 2045.

Estas comparações demonstram que o custo de gestão pode variar de um local para outro e que o valor encontrado para o ano de 2045 não está fora da realidade.

**Gráfico 23 - Custos dos serviços em um horizonte de 27 anos**

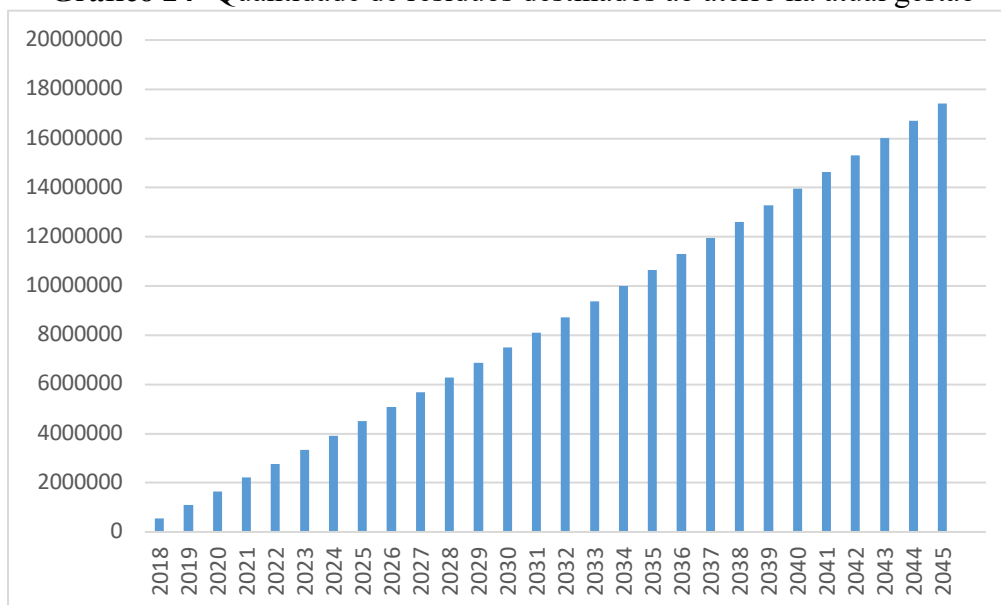
Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 25 apresenta a quantidade crescente de resíduos destinados ao aterro com um total de 16.879.392 de toneladas de resíduos acumulados em 27 anos e recebendo um total de 708.491 toneladas em 2045. Tal valor foi gerado a partir da simulação através do *software* Vensim, o qual considerou a taxa de crescimento populacional e a quantidade de resíduo gerado por habitante.

De acordo com o cenário traçado Curitiba geraria um total de 730.403 toneladas de resíduos, quantidade abaixo do gerado em capitais com uma população próxima estimada para 2045, Fortaleza gerou em 2013 857.161 toneladas de resíduos e Belo horizonte produziu 822.064 toneladas em 2015.

Apesar de uma geração abaixo das outras capitais o valor não está fora da realidade, pois Curitiba possui uma geração per capita menor que a média brasileira que é de aproximada mente um quilo (ABRELPE, 2017).

**Gráfico 24-** Quantidade de resíduos destinados ao aterro na atual gestão



Fonte: Autoria própria (2019).

A Prefeitura de Curitiba possui desde 2010 um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos que é revisto a cada novo mandato e que conta com ações e estratégias para reduzir a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários por meio da compostagem, do aumento do reaproveitamento dos resíduos secos e de cooperativas.

Entretanto o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento que traz dados históricos repassados pela Prefeitura demonstra que no máximo Curitiba conseguiu reduzir



5% nos últimos anos e que a média pós 2010 é de 4% do total gerado, ou seja, 96% do que é produzido vai para o aterro sanitário.

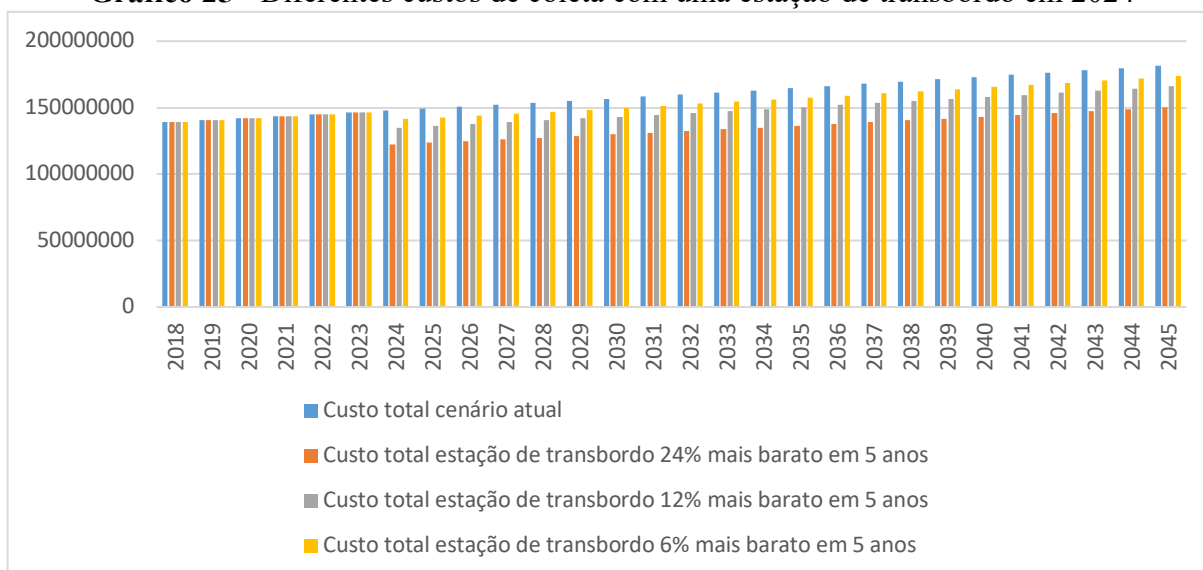
Os próximos cenários simulam uma redução no custo da coleta através de uma estação de transbordo, tratamento descentralizado do resíduo úmido compostável, diferentes taxas para o reaproveitamento do resíduo seco e do úmido centralizado. Comparando os cenários com o panorama desenvolvido neste subcapítulo.

### **5.5 Resultado objetivo específico e: Comparação dos diferentes cenários com o modelo atual**

O primeiro cenário foi desenvolvido a partir das entrevistas com os responsáveis pela gestão de resíduos sólidos urbanos de Curitiba. Quando questionadas que ações seriam prioritárias para o atual modelo (que estava em processo licitatório) a resposta foi estação de transbordo e melhora no reaproveitamento de recicláveis secos. Visto que a busca por uma estação de transbordo ocorre desde o Plano de 2010, assim foram criados cenários com diferentes períodos para a sua instalação com três porcentagens de redução de custo.

A primeira porcentagem para esta simulação está baseada na pesquisa de Pereira, Franco e Castilhos Junior (2013), os quais mencionam uma de economia de 24% no custo de coleta e transporte no município de Florianópolis utilizando uma estação de transbordo. Caso não fosse alcançado tal redução foi proposta outras taxas inferiores 12 e 6%, porém com um ganho econômico.

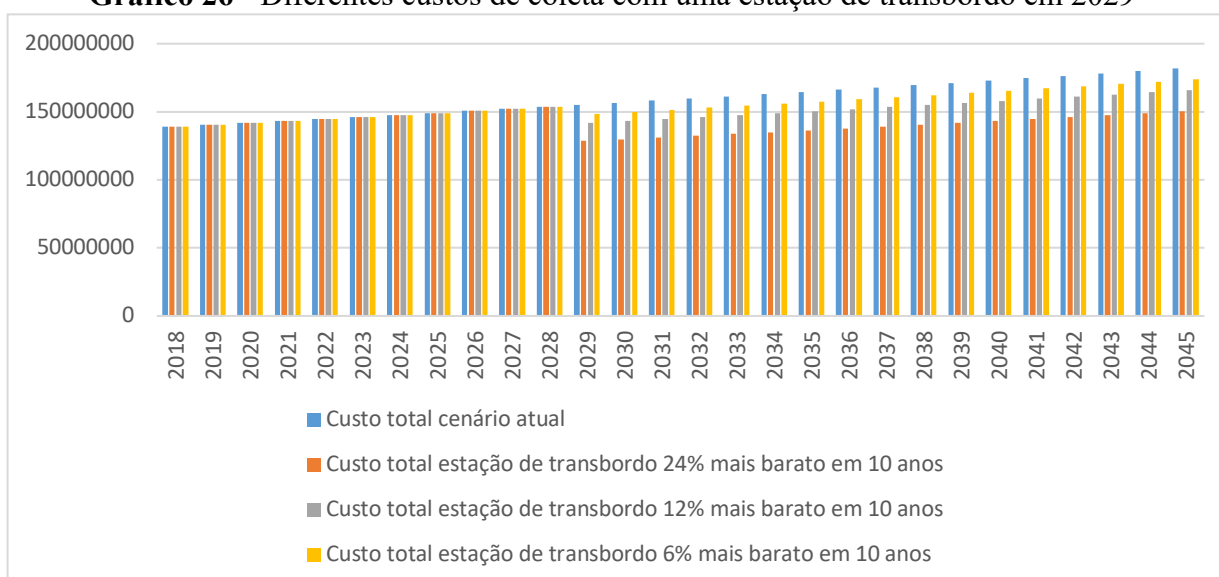
As simulações a seguir apresentam cenários diferentes para o custo da coleta, caso o município invista somente em uma estação de transbordo. São comparados a simulação do modelo atual com taxa de 24%, 12% e 6% mais barata para a coleta e aplicados em três diferentes anos. No gráfico 26 está o primeiro cenário com diferentes custos, com a instalação e uso da estação de transferência em 2024.

**Gráfico 25 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2024**

Fonte: Autoria própria (2019).

A implantação de uma estação de transferência em até cinco anos poderia gerar a redução de custos nas três taxas de 24%, 12% e 6% e gerando um custo de 3.707.205.365, 4.017.167.206 e 4.172.220.717 de reais respectivamente. Comparado com o total gasto no modelo atual de 4.327.274.227 representaria uma redução final de 620.068.862, 310.107.021 e 155.053.510 de reais para 24%, 12% e 6% respectivamente em um horizonte de 27 anos.

O gráfico 27 demonstra uma redução de 24%, 12% e 6% no custo de coleta e transporte de resíduos para uma implantação em um ano distinto em 2029, ou seja, daqui 10 anos.

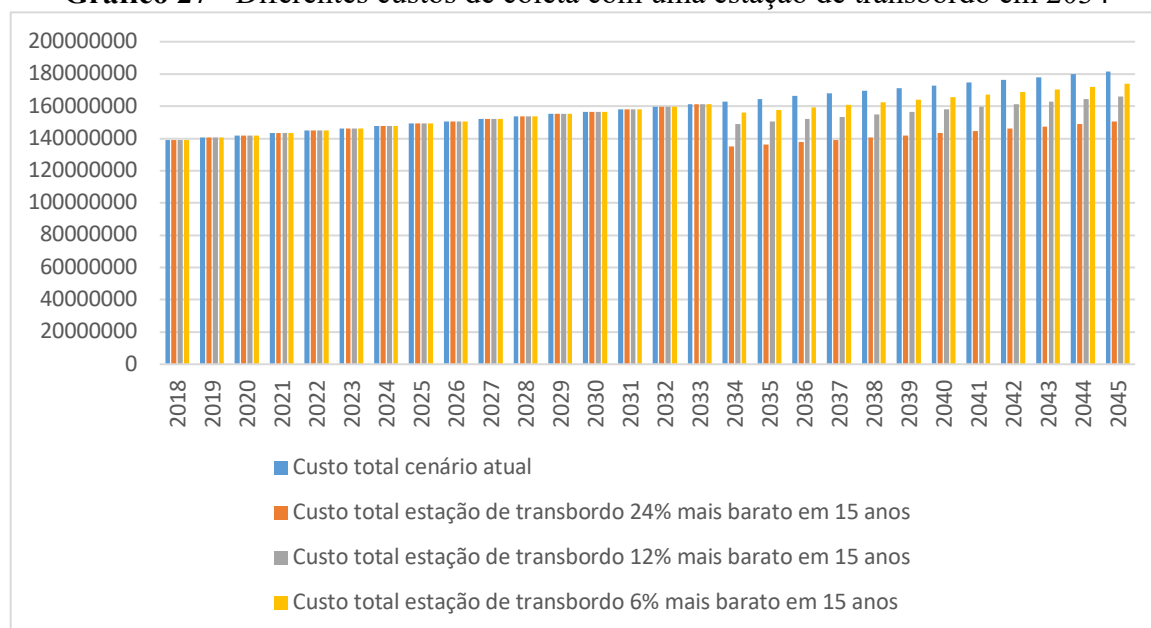
**Gráfico 26 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2029**

Fonte: Autoria própria (2019).

As simulações com as taxas de 24%, 12% e 6% gerariam um custo de 3.836.569.898, 4.081.864.616 e 4.204.569.422 de reais respectivamente. Comparado com o total gasto no modelo atual de 4.327.274.227 representaria uma redução final de 490.704.329, 245.409.611 e 122.704.805 de reais para 24%, 12% e 6% respectivamente.

O gráfico 28 demonstra uma redução de 24%, 12% e 6% no custo de coleta e transporte de resíduos com uma implantação para o ano de 2034, ou seja, daqui 15 anos.

**Gráfico 27 - Diferentes custos de coleta com uma estação de transbordo em 2034**



Fonte: Autoria própria (2019).

As simulações com as taxas de 24%, 12% e 6% gerariam um custo de 3.972.466.070, 4.149.828.612 e 4.238.551.420 de reais respectivamente. Comparado com o total gasto no modelo atual de 4.327.274.227 representaria uma redução final de 354.808.157, 177.445.615 e 88.722.807 de reais para 24%, 12% e 6% respectivamente.

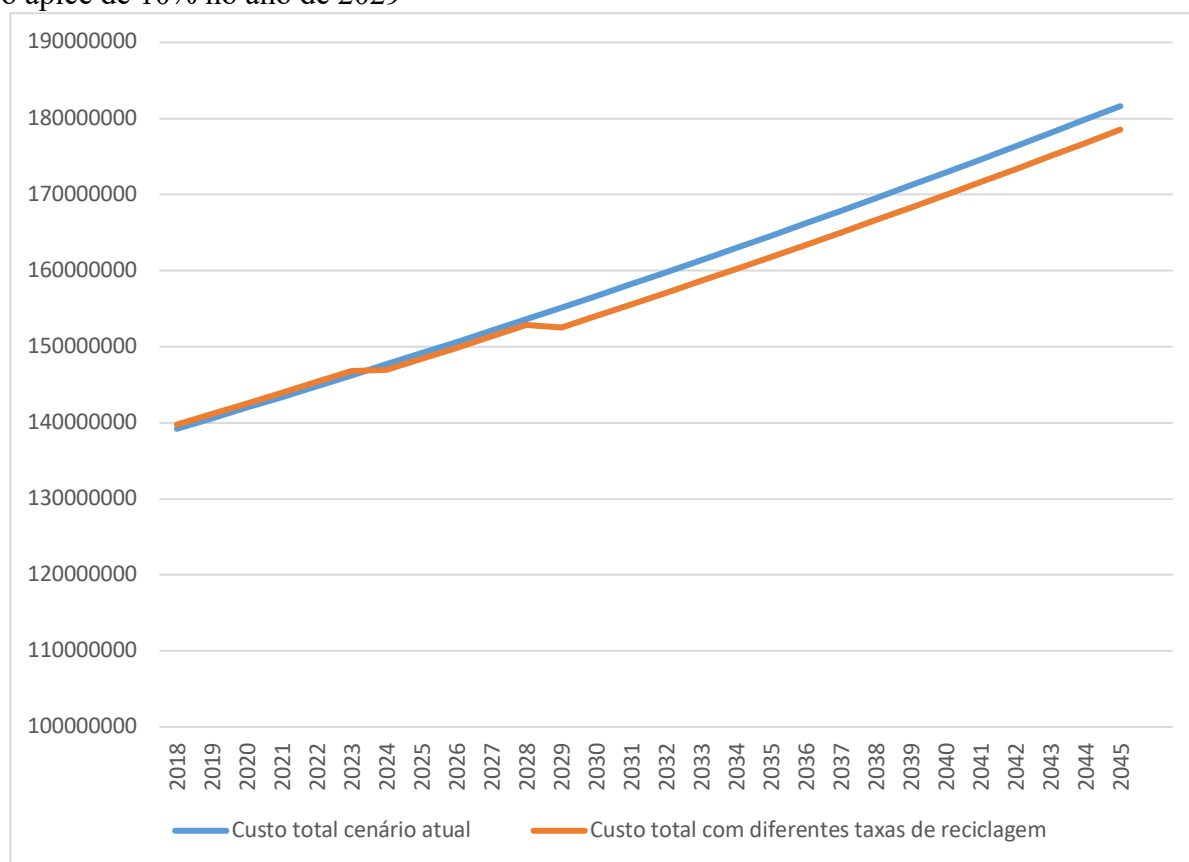
O trabalho não compara as economias de gasto com o custo da construção de uma estação de transbordo, sendo uma limitação do trabalho, assim não podendo aferir quando seria o melhor ano para a sua implementação e suas reais reduções de custo.

Tirando o custo da criação de uma estação de transbordo, independentemente do ano de sua implantação ela representa reduções de valores, quanto antes criadas maiores as economias, porém não altera a quantidade de resíduos destinados aos aterros, ou seja, possui uma redução apenas da parte financeira.

O próximo cenário observa o custo total de uma gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares com o aumento gradual nas taxas de reaproveitamento de resíduo seco ao longo dos anos, sem a presença de estações de transbordo.

O gráfico 29 apresenta o custo total de um cenário que em 2024 dobra a quantidade de resíduo seco reaproveitado, alcançando 6% e chegando ao ápice de 10% no anos de 2029 mantendo este padrão até o ano de 2045.

**Gráfico 28** - Custo total com o crescimento da taxa de reaproveitamento de material seco com o ápice de 10% no ano de 2029

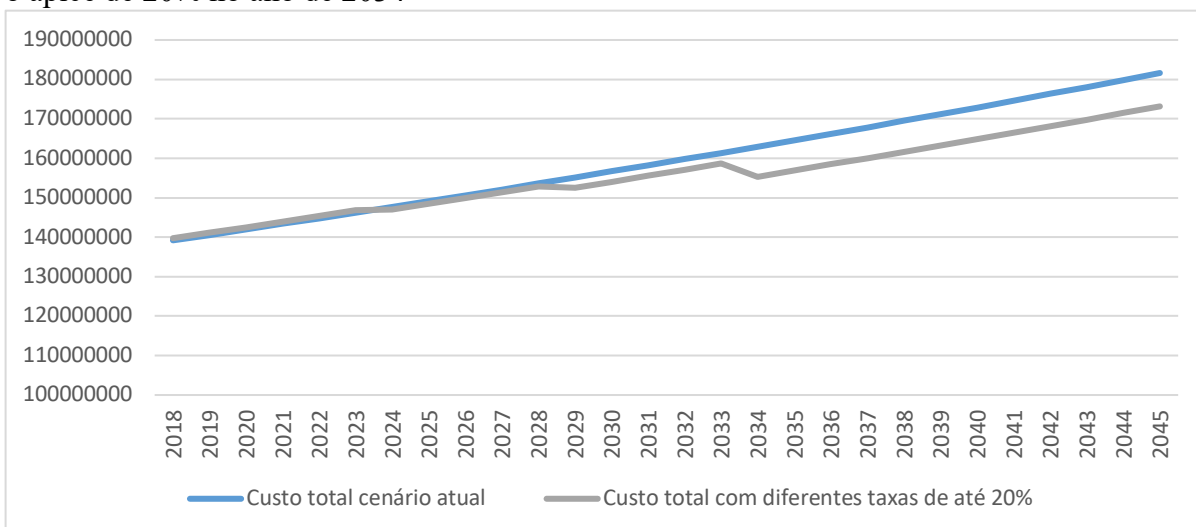


Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 29 demonstra que tal ação resultaria em uma economia de 49.355.704 e reais no final de 2049.

O gráfico 30 apresenta um cenário com mesma evolução do gráfico 29, porém com um aumento na taxa de reciclagem de material seco para 20% em 2034. Comparado com o cenário atual tal elevação representaria uma redução de 110.673.177 de reais.

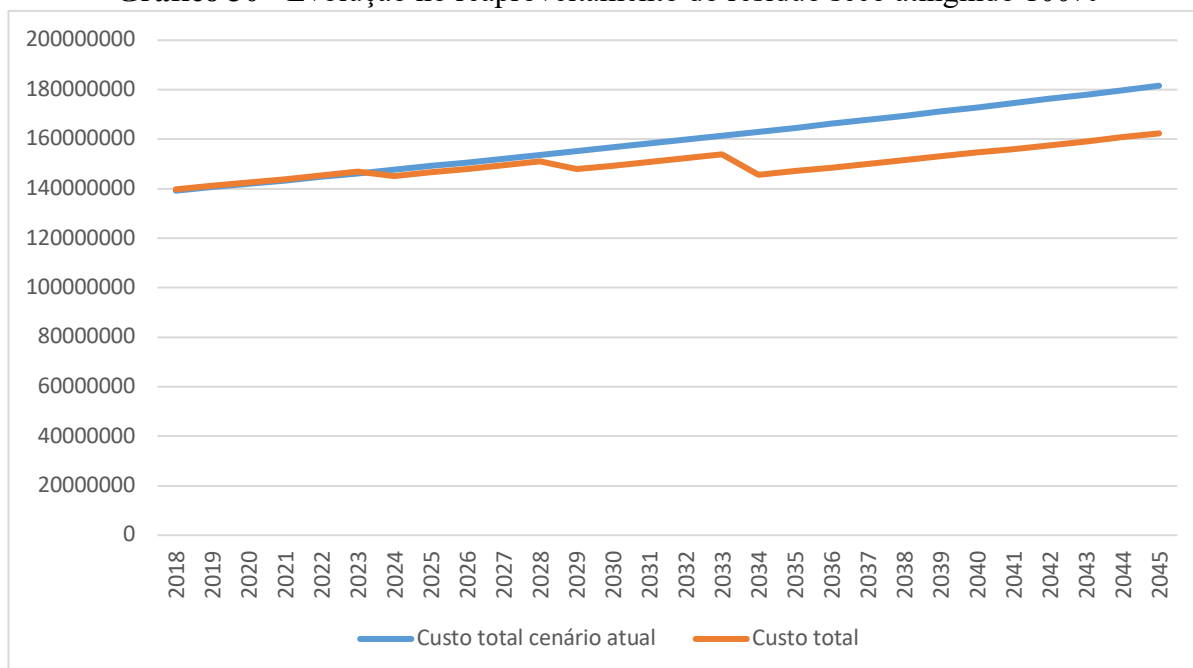
**Gráfico 29** - Custo total com o crescimento da taxa de reaproveitamento de material seco com o ápice de 20% no ano de 2034



Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 31 demonstra uma política pública focada no reaproveitamento dos resíduos secos e baseada na economia circular. Tal cenário começa com uma redução de 10% dos resíduos secos em 2024, alcança 20% em 2029 e chega a 40% em 2034, reciclando 100% dos resíduos secos encontrados no município de acordo com o estudo gravimétrico. Através da circularidade de materiais estruturada desde a separação na fonte geradora até a comercialização final.

**Gráfico 30** - Evolução no reaproveitamento do resíduo seco atingindo 100%

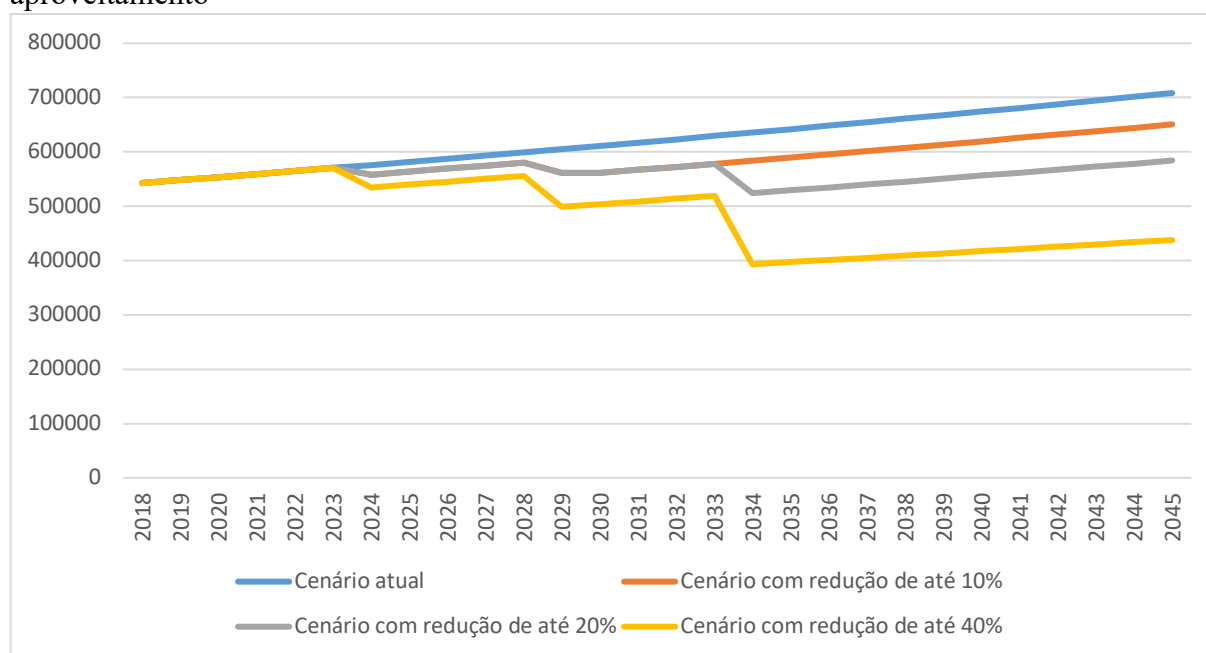


Fonte: Autoria própria (2019).

A convergência de diferentes políticas em relação aos resíduos secos possibilitaria um reaproveitando de 100% destes materiais, ou seja, alcançaria uma redução de 265.329.196 de reais no final de 27 anos respeitando as metas apresentadas.

O gráfico 32 apresenta a quantidade de resíduos destinados ao aterro conforme os cenários demonstrados anteriormente.

**Gráfico 31** - Quantidade de resíduos destinados ao aterro com diferentes taxas de aproveitamento



Fonte: Autoria própria (2019).

Os cenários para tratamento de resíduos secos apresentam uma redução financeira nos custos totais. Porém pensando em um viés de economia circular o seu maior ganho é com relação aos resíduos reaproveitados e a redução de resíduos destinados ao aterro sanitário. Os diferentes cenários possibilitam uma redução de 16.879.392 toneladas de resíduos no cenário atual para 15.888.427, 15.130.881 e 13.052.737 respectivamente para um cenário de crescimento de reaproveitamento de 1%, 20% e 40%. No melhor cenário há uma redução final de 3.826.655, ou seja, cerca de 22% menos de resíduos secos no aterro ao longo de 27 anos.

Os cenários para o tratamento de resíduos seco podem ser outros e com outras taxas, o que fica evidente que esta ação contribui para a redução de custos e para a circularidade de materiais que demandam tempo para serem decompostos. A redução é relativa, pois o modelo não levou em conta os custos de implantação de uma política de reaproveitamento e criação de novas associações/cooperativas.

O cenário também serve para demonstrar que quanto maior for a taxa de reaproveitamento menor é o custo da disposição final no aterro. No entanto esta ação não reduz o custo de coleta e transporte que representa cerca de 71% do custo total e mesmo desviando 100% dos resíduos secos do aterro, ele ainda receberia 60%.

Os próximos cenários exploram outra parte da composição dos resíduos e demonstram como uma gestão descentralizada contribui para uma redução de gastos de coleta e de disposição final.

O gráfico 33 apresenta a evolução do cenário atual ao longo dos anos, além de outros quatro cenários que envolvem apenas o tratamento descentralizado dos resíduos orgânicos compostáveis realizado nas residências ou em áreas comunitárias pela sociedade.

O primeiro cenário em laranja apresenta uma redução de 10% na geração de resíduo úmido em 2024, que corresponde a 4% dos resíduos totais gerados e somados com os 3% do reaproveitamento de resíduos secos existentes representando uma redução total de 7% no total depositado no aterro.

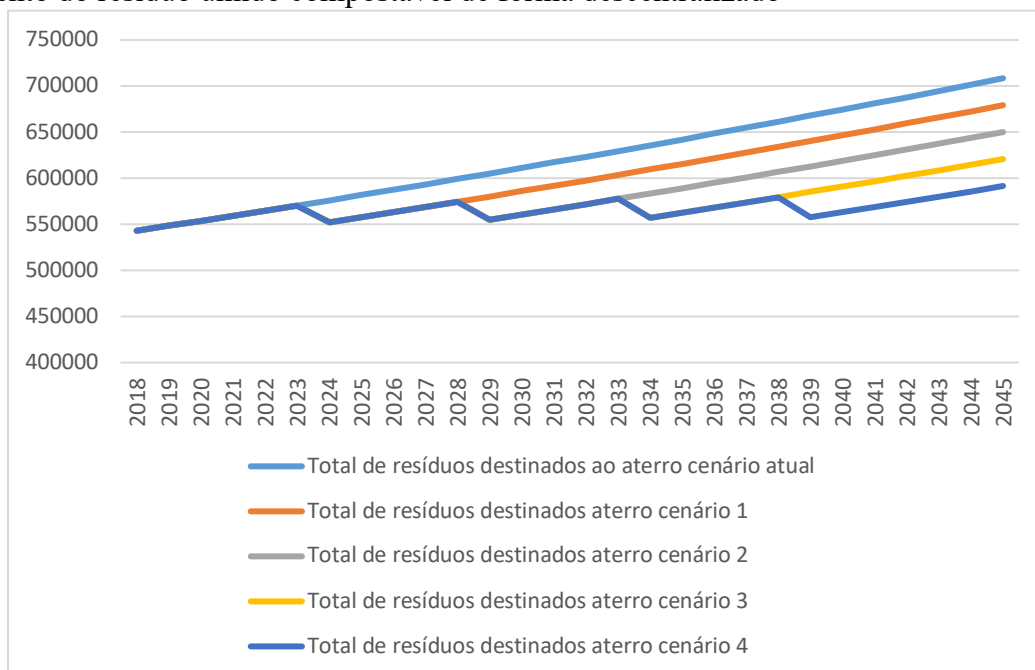
O cenário dois em cinza demonstra uma redução de 10% na geração de resíduo úmido em 2024, e um aumento de 20% em 2029, o que corresponde a 8% dos resíduos totais gerados e somados com os 3% do reaproveitamento de resíduos secos existentes apresenta uma redução de 11% no total depositado no aterro.

O cenário três em amarelo exibe a mesma evolução do cenário dois, mas com um aumento de 30% em 2034 na taxa de reaproveitamento dos orgânicos, o que corresponde a 12% dos resíduos totais gerados e somados com os 3% do reaproveitamento de resíduos secos existentes apresenta uma redução de 15% no total depositado no aterro.

O cenário 4 em azul escuro segue o padrão dos cenários anteriores até o ano de 2038, a partir daí há o aumento na redução da geração de resíduo úmido de 40%, o que corresponde a 16% dos resíduos totais gerados e somados com os 3% do reaproveitamento de resíduos secos existentes apresenta uma redução de 19% no total depositado no aterro.

O gráfico 33 apresenta a redução na quantidade final de resíduos depositados no aterro sanitário. No cenário atual são depositados 16.879.392 de toneladas ao final de 27 anos, já os cenários um, dois, três e quatro destinam 16.298.675, 15.839.104, 15.506.811 e 15.308.214 toneladas respectivamente. Confrontando com o desenvolvimento do panorama atual os cenários um, dois, três e quatro apresentam uma diminuição de toneladas respectivamente de 580.717, 1.040.288, 1.372.581 e 1.571.178 resíduos destinados ao aterro no final do ano de 2045.

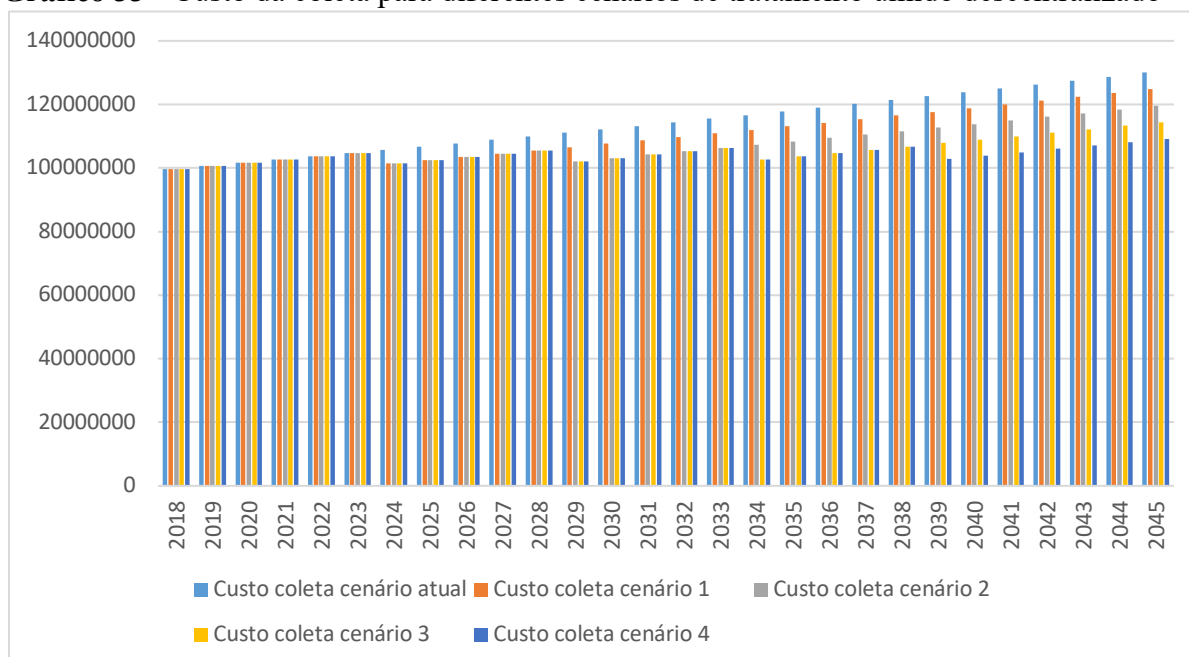
**Gráfico 32** - Total de resíduos destinados ao final de 2045 com diferentes cenários para o tratamento do resíduo úmido compostável de forma descentralizado



Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 34 demonstra a redução do custo de coleta e compara o panorama atual com os outros quatro cenários. No final de 2045 há uma redução de 2.993.583.716, 2.911.794.755, 2.852.673.833 e 2.817.312.084 reais respectivamente para os cenários um, dois, três e quatro.

**Gráfico 33** - Custo da coleta para diferentes cenários de tratamento úmido descentralizado

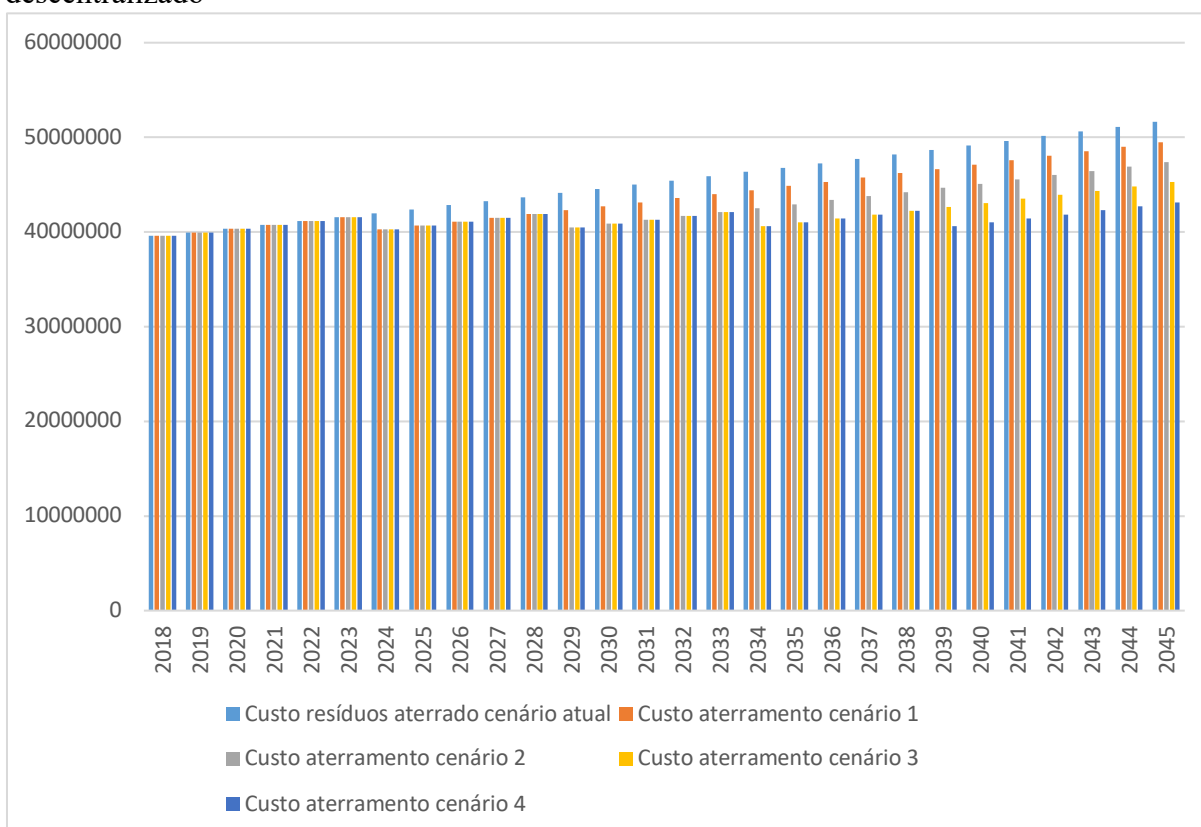


Fonte: Autoria própria (2019).



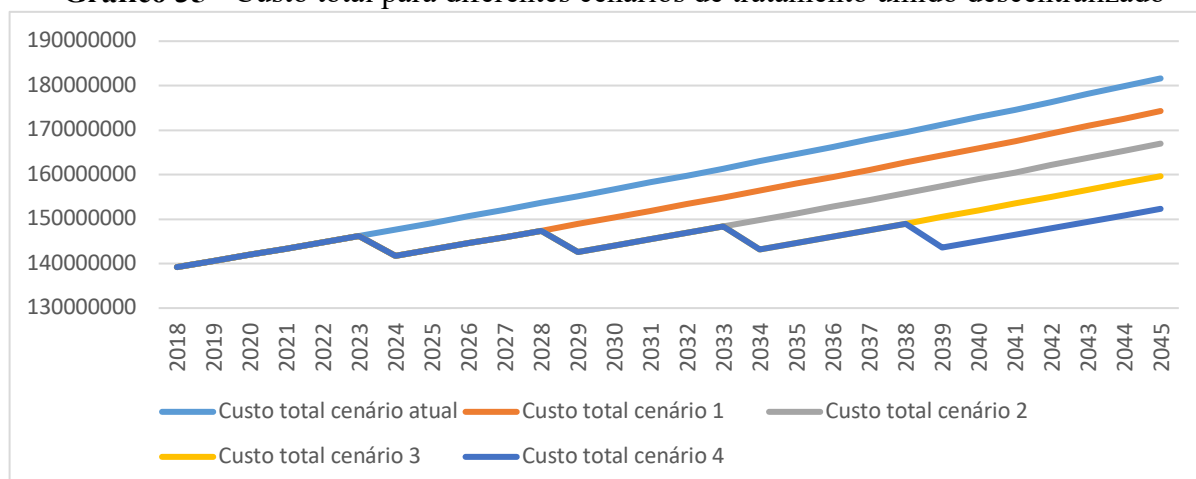
O gráfico 35 compara a redução no custo do aterramento do resíduo ao longo tempo. No ano de 2045 os cenários um, dois, três e quatro diminuiriam o custo para 1.188.010.421, 1.154.512.290, 1.130.291.454 e 1.115.815.718 de reais respectivamente. Comparando o gasto do cenário atual de 1.230.338.883 os cenários são 42.328.462, 75.826.593, 100.047.429 e 114.523.165 de reais respectivamente para os cenários um, dois, três e quatro.

**Gráfico 34 -** Custo de aterramento para diferentes cenários de tratamento do resíduo úmido descentralizado



Fonte: Autoria própria (2019).

Diferente da política de reaproveitamento do resíduo seco, o tratamento descentralizado do resíduo úmido representa uma redução dupla no custo, ou seja, influencia na despesa da coleta e da disposição final. O gráfico 36 apresenta o custo total do sistema para o cenário atual e os quatro panoramas apresentado anteriormente.

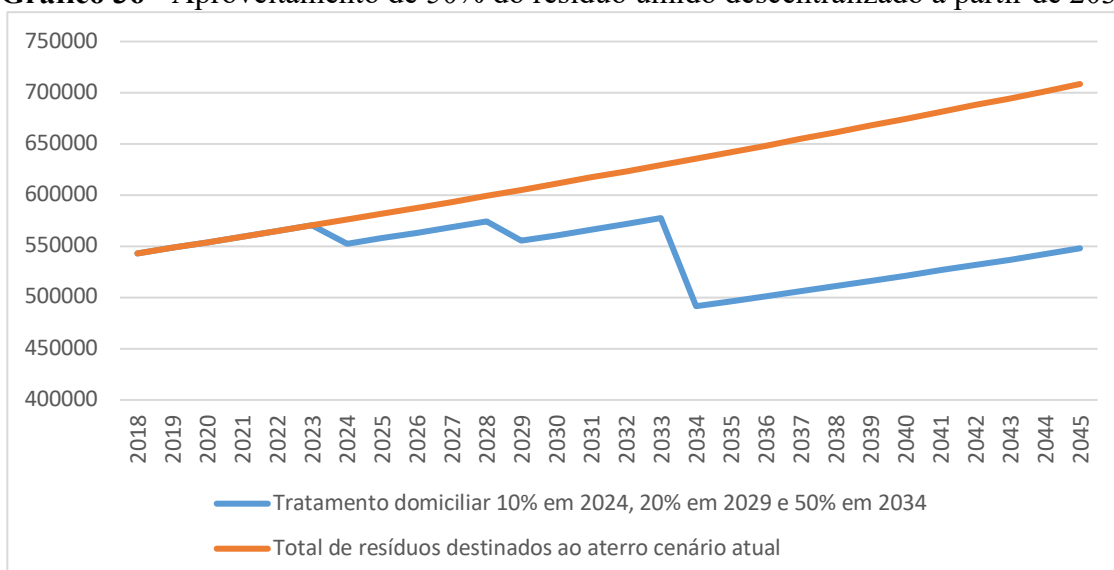
**Gráfico 35 - Custo total para diferentes cenários de tratamento úmido descentralizado**

Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo o gráfico 36 o cenário um no ano de 2045 apresenta um custo total de 16.298.675, o cenário 2 de 15.839.104, o cenário três de 15.506.811 e o cenário quatro de 15.308.214 de reais. Comparando com o cenário atual de 16.879.392 reais a diferença para os quatro cenários são: 580.717, 1.040.288, 1.372.581 e 1.571.178 de reais respectivamente.

O próximo cenário segue a estimativa do potencial de tratamento descentralizado do resíduo úmido compostável em diferentes regiões, como por exemplo o Canadá e a Europa que é de 50% (VÁSQUEZ; SOTO, 2017).

De acordo com o estudo gravimétrico obtido os resíduos orgânicos representam cerca de 40% do total, logo abordar 50% dos resíduos úmidos representa tratar 20% no sistema descentralizado apresentados no gráfico 37.

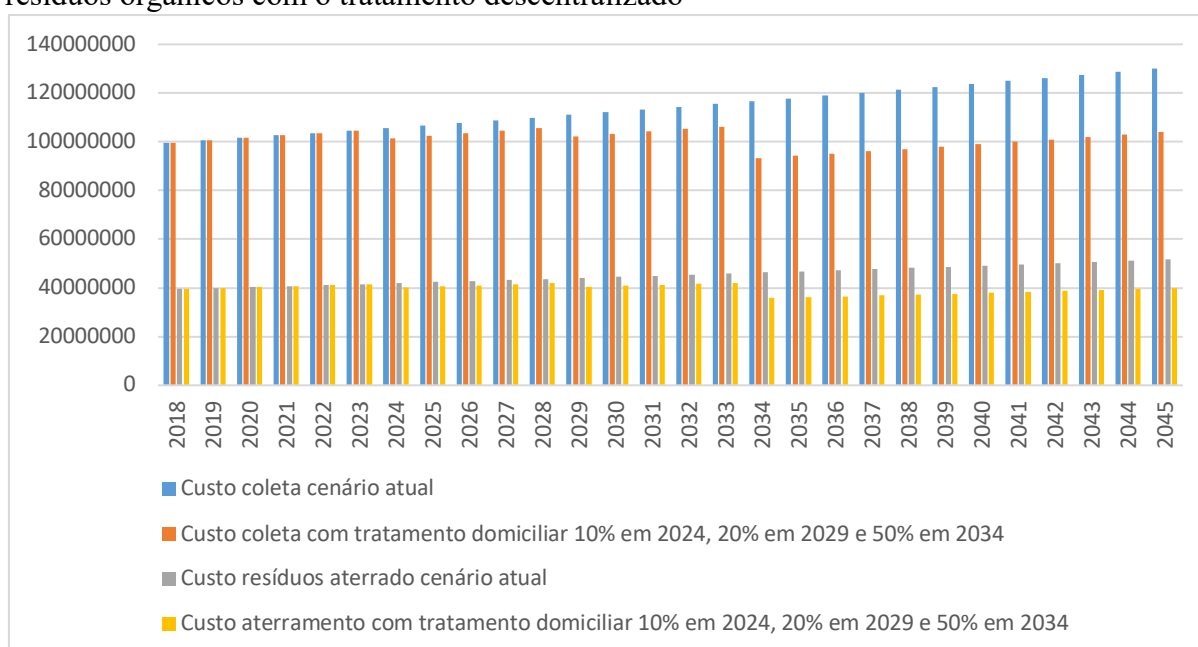
**Gráfico 36 - Aproveitamento de 50% do resíduo úmido descentralizado a partir de 2034**

Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 37 apresenta um cenário seguindo a tendência de gestões de outros países, com 50% dos resíduos úmidos tratados de forma descentralizada (o que representa 20% do total dos resíduos gerados em Curitiba) e 5% do reaproveitamento dos resíduos secos a partir de 2034 totalizando 25% dos resíduos tratados.

Estas ações baseadas nas concepções de economia circular podem contribuir para uma redução de cerca de 13% do total de resíduos que seria destinado ao aterro ao final de 27 anos, ou seja, 2.203.320 toneladas. Além do decaimento de material destinado ao aterro, há a redução no custo de coleta e de aterramento, vistos no gráfico 37.

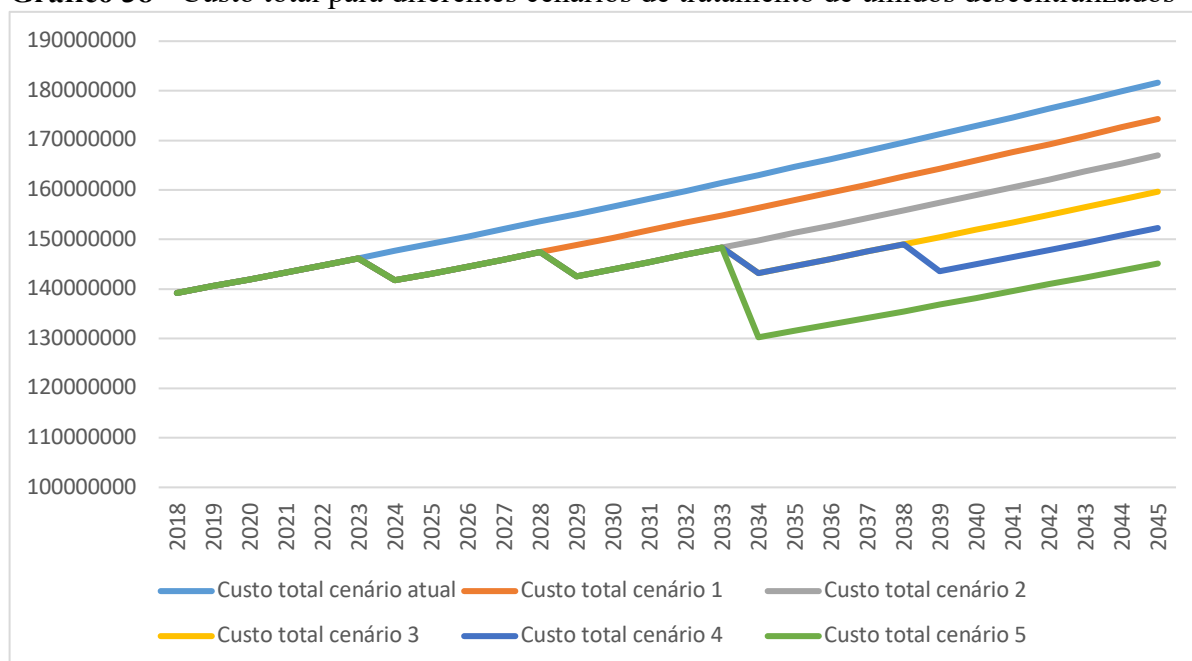
**Gráfico 37** - Custo de coleta e de aterramento com taxas crescentes até atingir 50% dos resíduos orgânicos com o tratamento descentralizado



Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 38 apresenta uma redução de aproximadamente 12% e 13% no custo de coleta e custo de aterramento respectivamente do tratamento domiciliar/comunitário para o cenário atual, ou seja, de 3.096.935.344 para 2.734.360.979 e 1.230.338.883 e 1.069.738.888 respectivamente.

O gráfico 39 adiciona o último cenário aos panoramas com diferentes taxas de aproveitamento domiciliar do resíduo úmido compostável apresentados no gráfico 35 e compara os diferentes custos totais.

**Gráfico 38 - Custo total para diferentes cenários de tratamento de úmidos descentralizados**

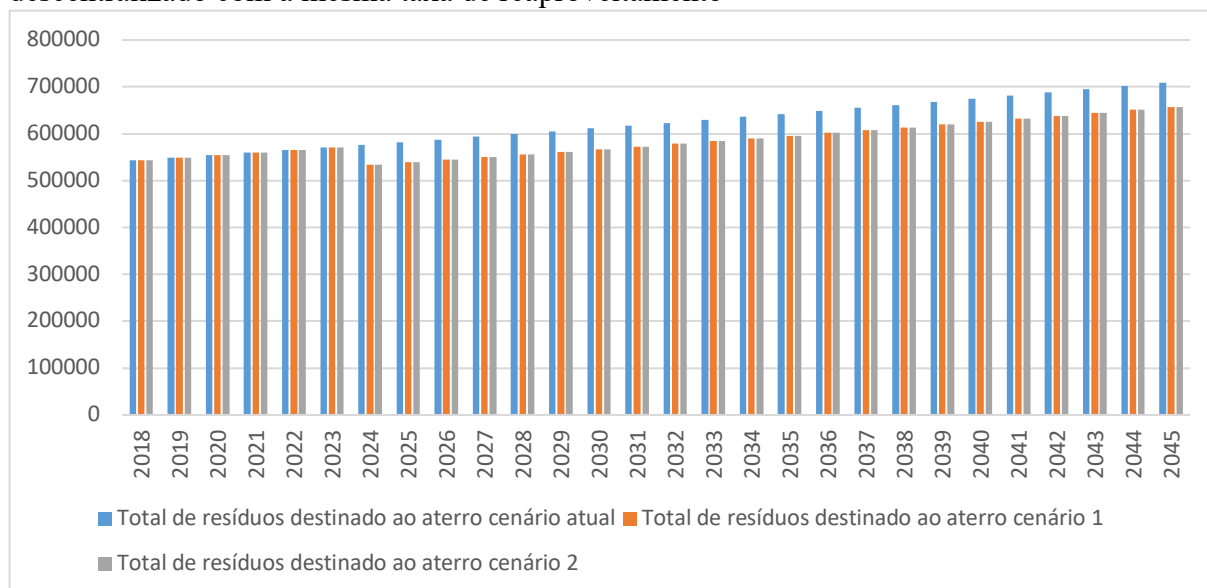
Fonte: Autoria própria (2019).

Com relação ao custo total no final de 2045 entre o cenário atual e o tratamento de 50% do resíduo úmido compostável iniciado em 2034 há uma redução de 630.308.598 reais, superando os demais cenários que economizariam 580.717, 1.040.288, 1.372.581 e 1.571.178 de reais respectivamente. Caso a evolução do tratamento úmido descentralizado que chega a 50% dos orgânicos fosse efetivado seguindo o padrão suposto a economia ao final de 27 anos seria de aproximadamente 14,5%.

Tal descentralização depende da participação de toda a sociedade, ou seja, há a necessidade do tratamento dos resíduos orgânicos compostáveis de forma domiciliar e comunitária. Assim, mesmo as pessoas com pouco espaço em seus domicílios poderiam tratar os seus resíduos localmente, ou seja, em espaços como parques, hortos, escolas, universidades, conjuntos residenciais prédios.

Para demonstrar a redução dupla do custo utilizando um tratamento descentralizado é apresentado dois cenários com uma redução de 10% na quantidade de resíduos destinados ao aterro, começando em 2024. O primeiro cenário reduz 4% dos resíduos úmidos de forma domiciliar e reaproveita 6% dos resíduos secos. O segundo cenário reduz 6% dos resíduos secos 4% dos resíduos úmidos através de uma usina de compostagem. O gráfico 40 apresenta a quantidade de resíduos destinados ao aterro, tanto o cenário um quanto o dois apresentam a mesma quantidade de redução utilizando formas diferentes de tratamento.

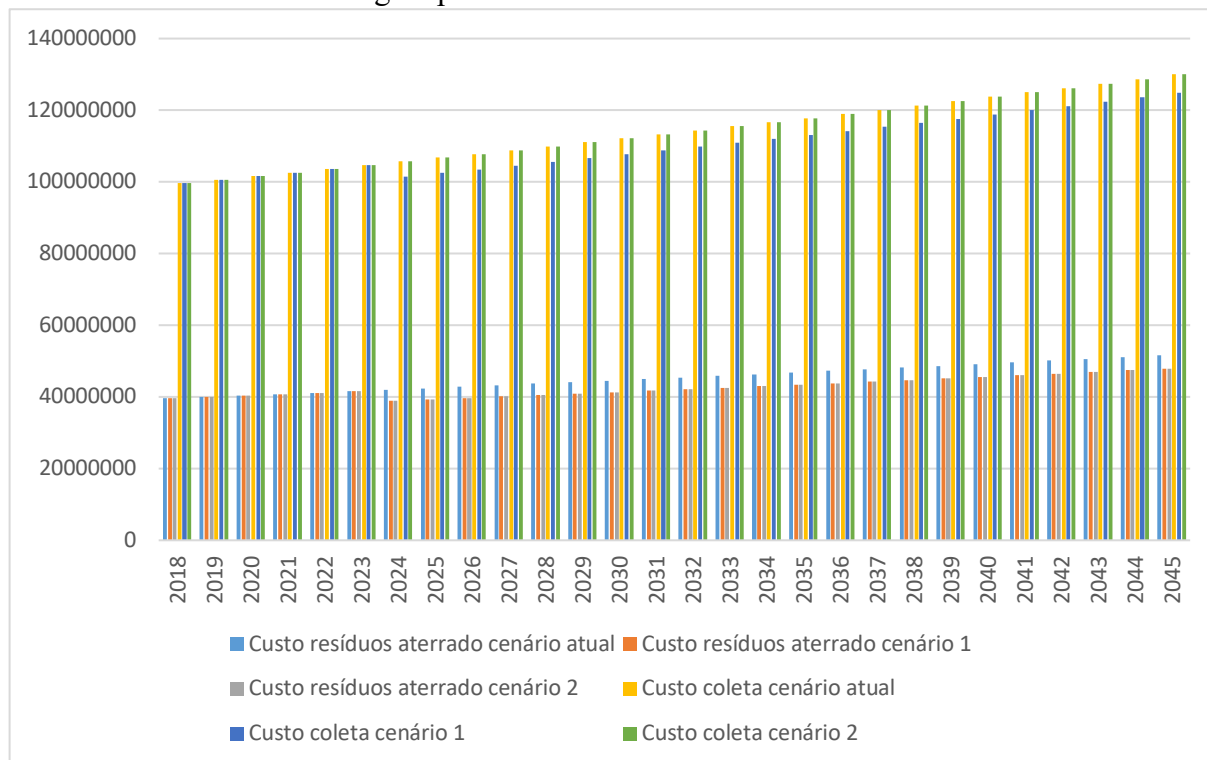
**Gráfico 39 - Total de resíduos destinados ao aterro utilizando tratamento centralizado e descentralizado com a mesma taxa de reaproveitamento**



Fonte: Autoria própria (2019).

Ambos cenários reduziram a mesma quantidade de resíduos destinados ao aterro com um total de 15.863.131 de tonelada, ou seja, uma redução de 1.016.261 toneladas comparado com o cenário atual. Assim, possuem o mesmo custo de coleta gráfico 41.

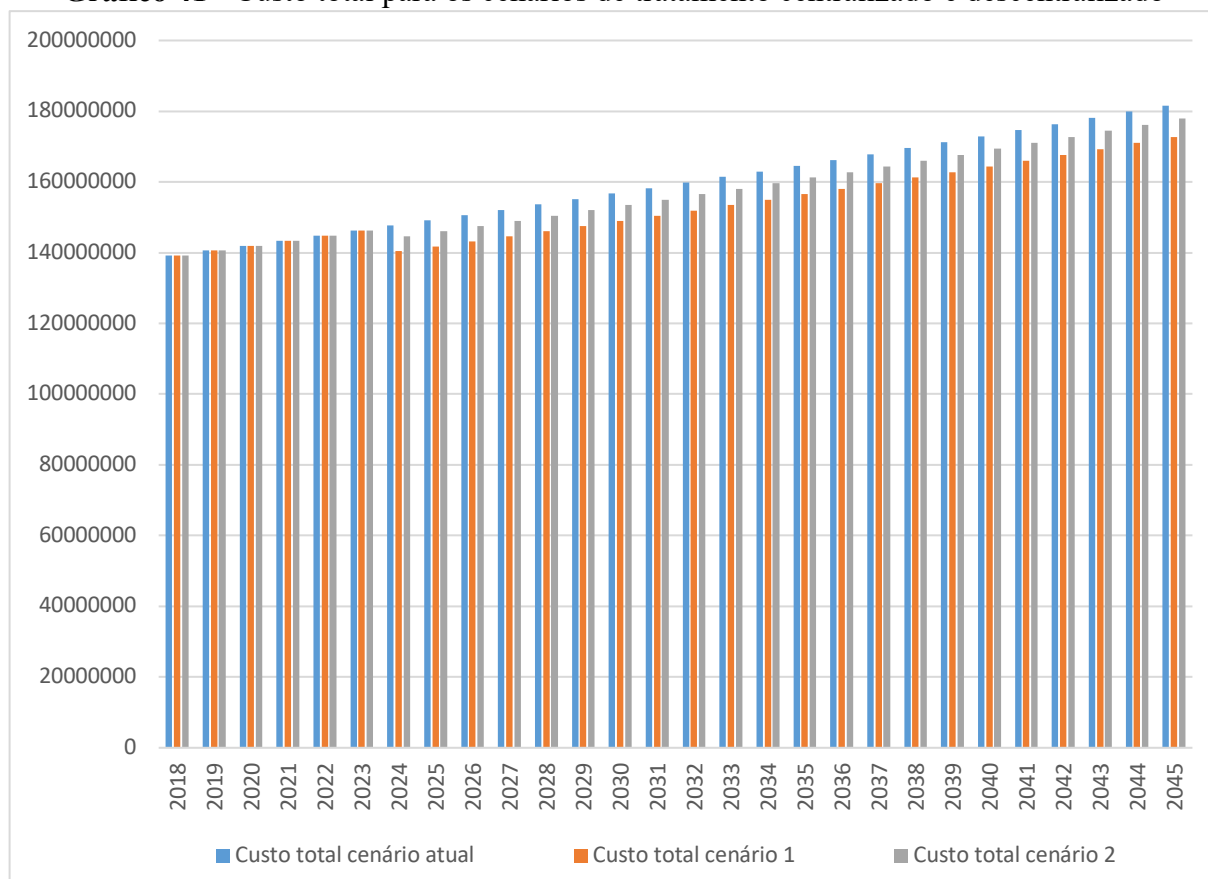
**Gráfico 40 - Custo de aterragem para o cenário de tratamento centralizado e descentralizado**



Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 41 mostra um custo de aterragem ao final de 27 anos de 1.156.263.619 reais para os dois tratamentos, uma redução de 113.656.210 de reais para o panorama atual. Entretanto somente o cenário com tratamento descentralizado reduz o custo de coleta e consequentemente o custo total. O custo total para dois diferentes tratamentos e o cenário atual é apresentado no gráfico 42.

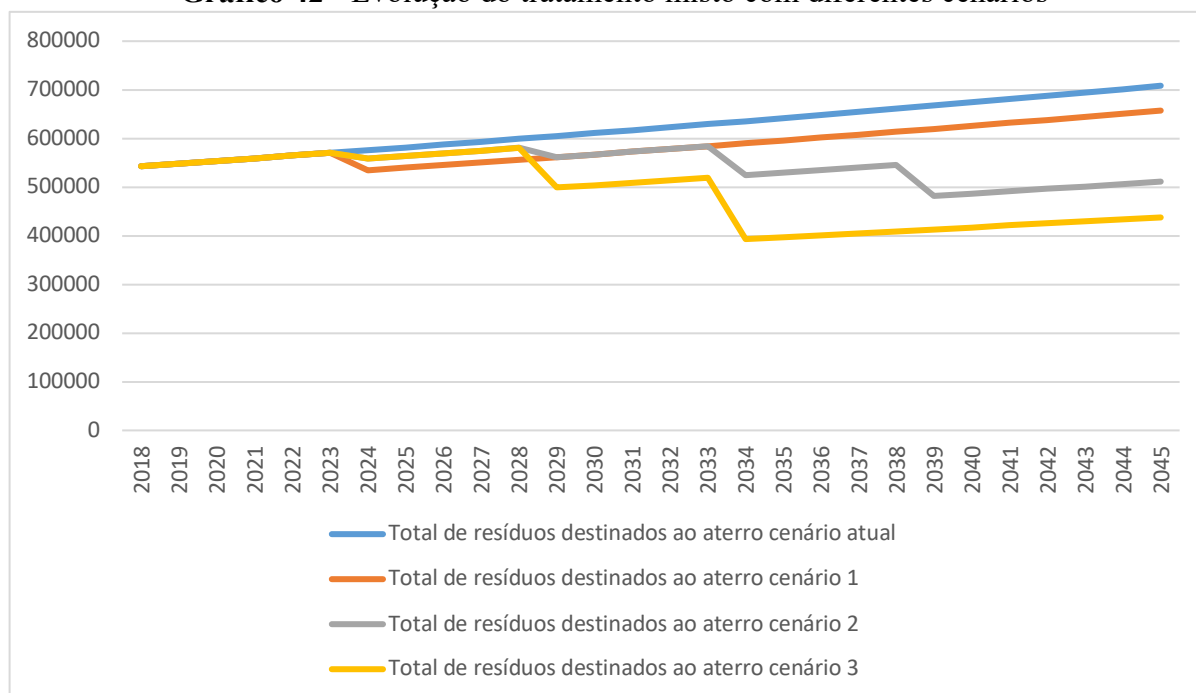
**Gráfico 41 - Custo total para os cenários de tratamento centralizado e descentralizado**



Fonte: Autoria própria (2019).

Apesar de ambos tratamentos reduzirem o custo de aterragem e a quantidade de resíduos destinados para o aterro, apenas o cenário um que conta com o tratamento descentralizado consegue reduzir o custo da coleta e transporte, refletindo no custo total do sistema. Comparando o primeiro cenário com o modelo atual há uma redução de 177.426.892 de reais, enquanto o cenário dois apresenta uma redução de 74.075.264 de reais em 22 anos de implantação do tratamento, uma diferença de mais de 58%, ou seja, 103.351.628 de reais.

Os próximos cenários apresentam uma evolução gradual no tratamento misto, ou seja, com o descentralizado e reaproveitamento de resíduos secos ao longo do tempo (Gráfico 43).

**Gráfico 42 - Evolução do tratamento misto com diferentes cenários**

Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 43 é composto pelo cenário do modelo atual em azul, cenário um em vermelho que representa uma política de Estado implantada em 2024 e mantida até 2045, caracteriza pela redução de 10% da quantidade de resíduos destinados ao aterro, composto por 4% de resíduo úmido tratado de forma domiciliar e 6% de resíduos secos.

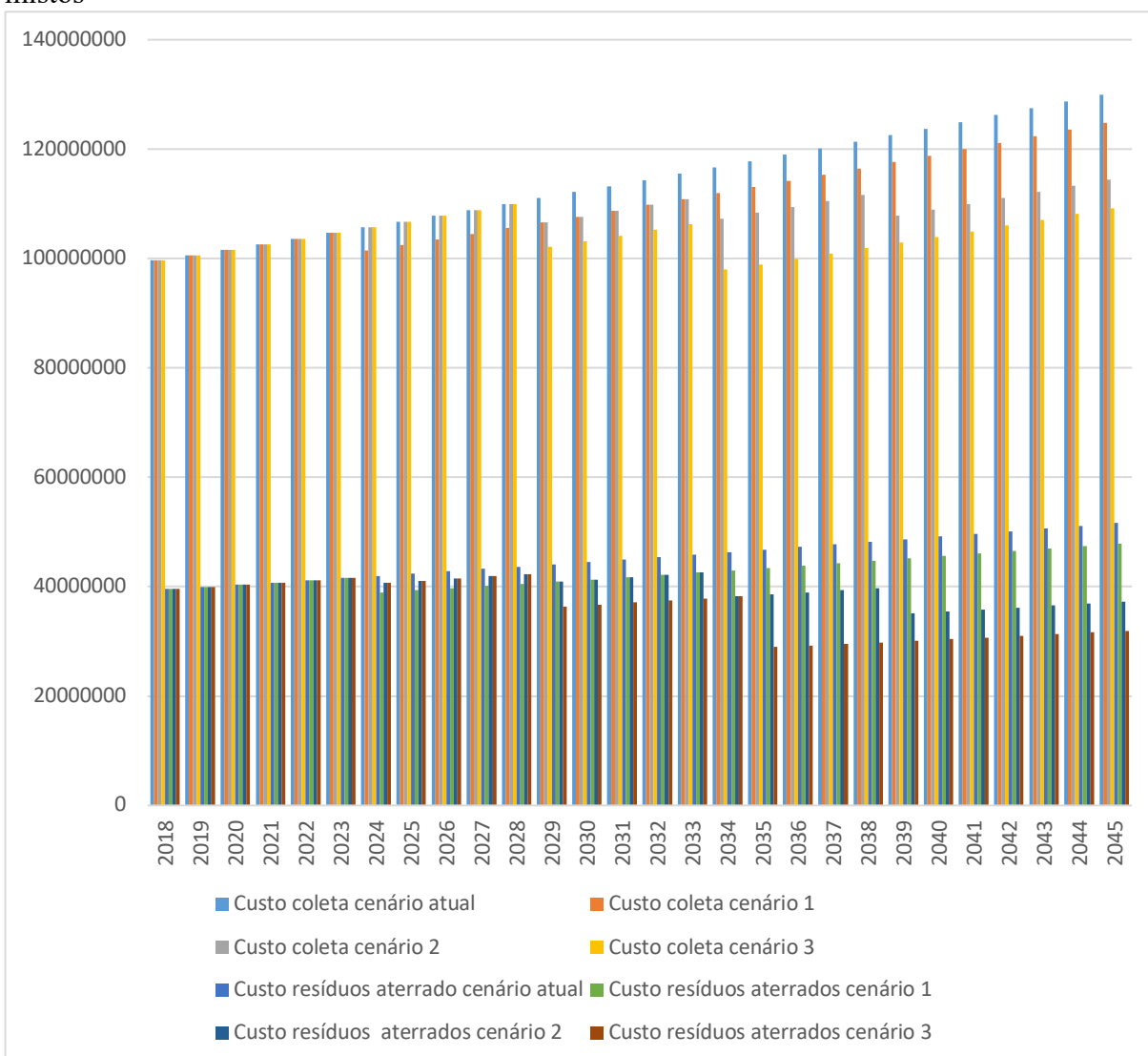
O cenário dois apresenta uma gestão com um aumento na taxa de reciclagem de 3% para 6% nos cinco primeiros anos, alcançando uma redução de 10% dos resíduos destinados ao aterro (4% resíduo úmido tratamento descentralizado e 6% reaproveitamento resíduo seco) em 2029, dobrando esta taxa em 2034 e chegando a 30% dos resíduos tratados em 2039, com 12% resíduos úmidos descentralizados e 18% entre reaproveitamento de resíduos secos e tratamento úmido centralizado.

O cenário três apresenta uma maior evolução na taxa de tratamento comparado com o cenário dois. Ele salta os 6% de tratamento de resíduos seco de 2024 para 20% em 2029 e 40% em 2034, trabalhando com uma taxa de 8% em 2024 e 16% em 2034 para o resíduo úmido descentralizado e 12% e 24% para os resíduos secos e compostáveis centralizados.

O gráfico 44 demonstra a redução nos custos de coleta e de aterramentos de todos os cenários estipulados. Uma maior participação da sociedade somados a uma mudança em seus hábitos, como por exemplo o tratamento dos resíduos úmidos compostáveis em seus domicílios resultaria em uma menor quantidade de resíduos gerados, além de uma melhora na

segregação dos resíduos. Alcançar o tratamento de 4% dos resíduos orgânicos e 6% dos resíduos seco em cinco anos e mantendo isso representa o cenário um.

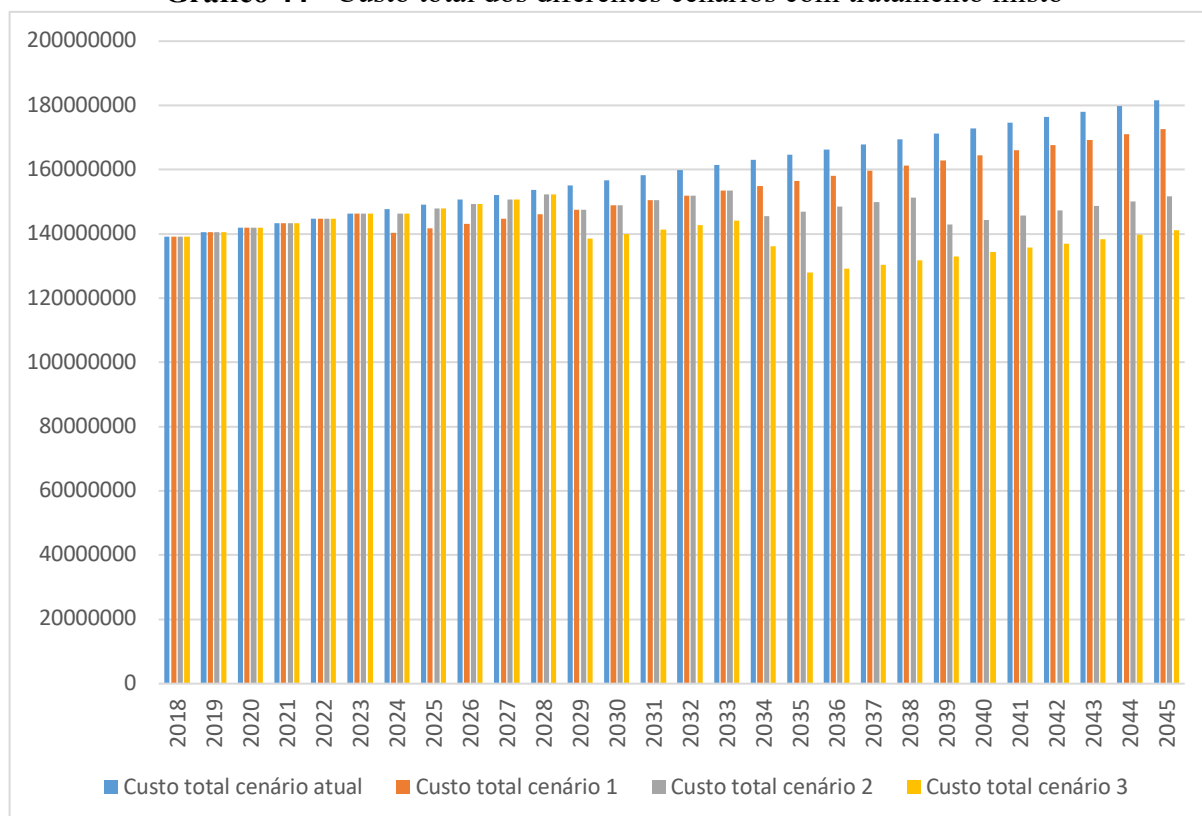
**Gráfico 43** - Cenário dos custos de coleta e de aterramentos para diferentes tratamentos mistos



Fonte: Autoria própria (2019).

Todos os cenários apresentam um menor custo de coleta e de aterramento, porém o cenário um é o mais próximo de uma aplicação, porque é o mais próximo da realidade, caso fosse, ele representaria uma economia de custo de coleta de 103.351.628 reais e 7.4075.264 reais em aterramento em um período de sete anos. O gráfico 45 apresenta o custo total dos cenários com tratamento misto.



**Gráfico 44 - Custo total dos diferentes cenários com tratamento misto**

Fonte: Autoria própria (2019).

Há uma redução nos custos totais de todos os cenários. O cenário um é o que menos reduziu com um custo final de 4.149.847.335 reais enquanto que o cenário 2 apresentou 3.989.026.612 reais e o cenário 3 378.4871.854 reais. Comparando com o gasto do cenário atual de 4.327.274.227 reais cada cenário do primeiro ao terceiro representa uma economia de 177.426.892, 338.247.615 e 542.402.373 reais respectivamente.

Os próximos cenários seguem uma diretiva Europeia de 2008, a qual prevê a reciclagem e reutilização de 50% dos resíduos domésticos até o ano de 2020 (EUROPEAN COMMISSION, 2008).

Para tanto, foi preparado diferentes cenários alcançando esta meta para Curitiba. Todos os cenários apresentam a mesma evolução para os primeiros 15 anos de gestão, ou seja, possuem após cinco anos uma redução de 10% no total de resíduos tratados, com 4% dos resíduos orgânicos domiciliares/ comunitários e 6% de reaproveitamento do seco ou do orgânico centralizado. A exceção é o cenário cinco que apresenta um tratamento centralizado.

Depois de mais cinco anos em 2029, todos cenários mantêm o mesmo padrão de desenvolvimento com uma taxa que chega a 20%, ou seja, 8% de resíduos úmidos

compostáveis realizados pela população e 12% com reaproveitamento do seco ou do orgânico centralizado. A exceção é o cenário cinco que reaproveita os resíduos de forma centralizada.

A partir de anos de 2034 são simulados diferentes futuros, porém todos alcançando 50% de reaproveitamento, seja de forma descentralizada ou centralizada. O cenário um apresenta um reaproveitamento de 8% do total de resíduos de forma descentralizada e 42% de forma centralizada, precisando reaproveitar os resíduos secos e úmidos.

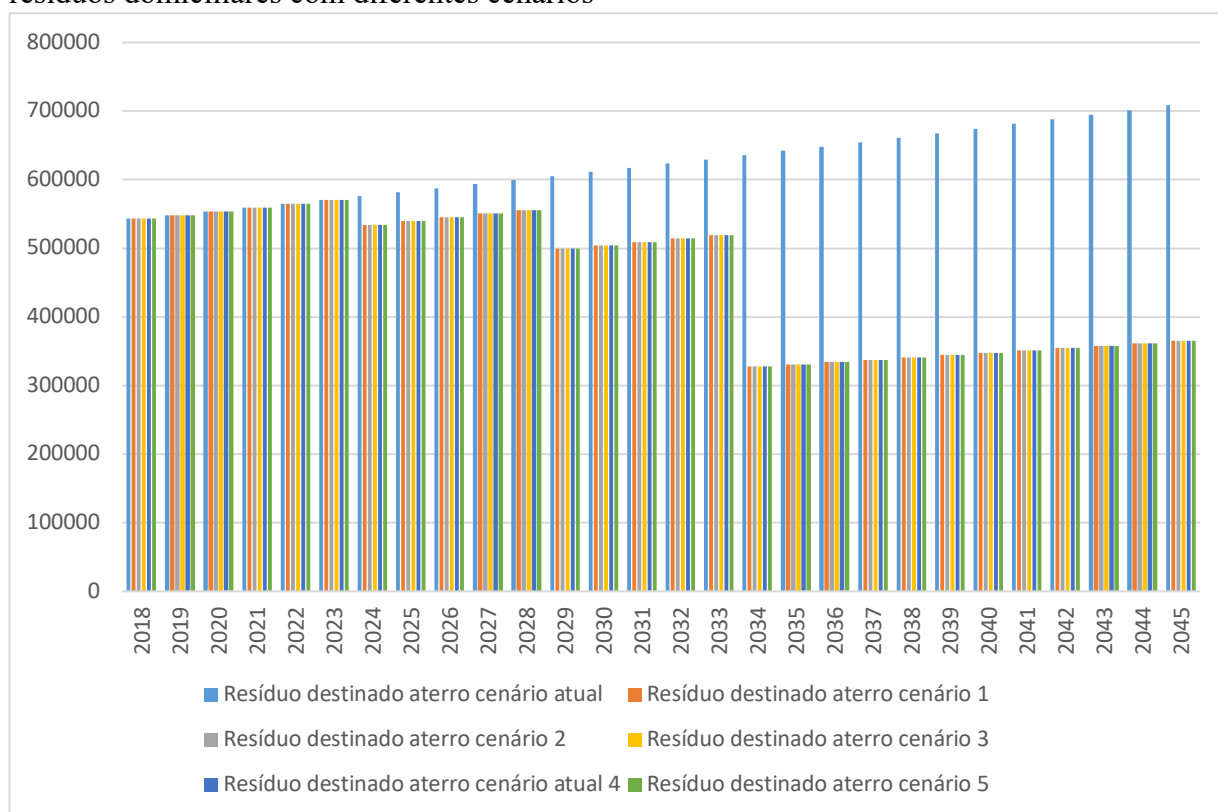
O cenário dois reaproveita 12% do total de resíduos de forma descentralizada e 38% de forma centralizada, podendo ser apenas os resíduos secos.

Os cenários três e quatro reaproveitam 16% e 20% do total de resíduos de forma descentralizada e 34% e 30% de forma centralizada respectivamente.

O cenário cinco reaproveita 50% dos resíduos de forma centralizada, tratando no mínimo 10% do total de resíduos através de usinas de compostagem.

O gráfico 46 apresenta a evolução da quantidade de resíduos destinados ao aterro, apesar de possuírem diferentes taxas de ação, possuem o mesmo objetivo a exceção é o cenário atual.

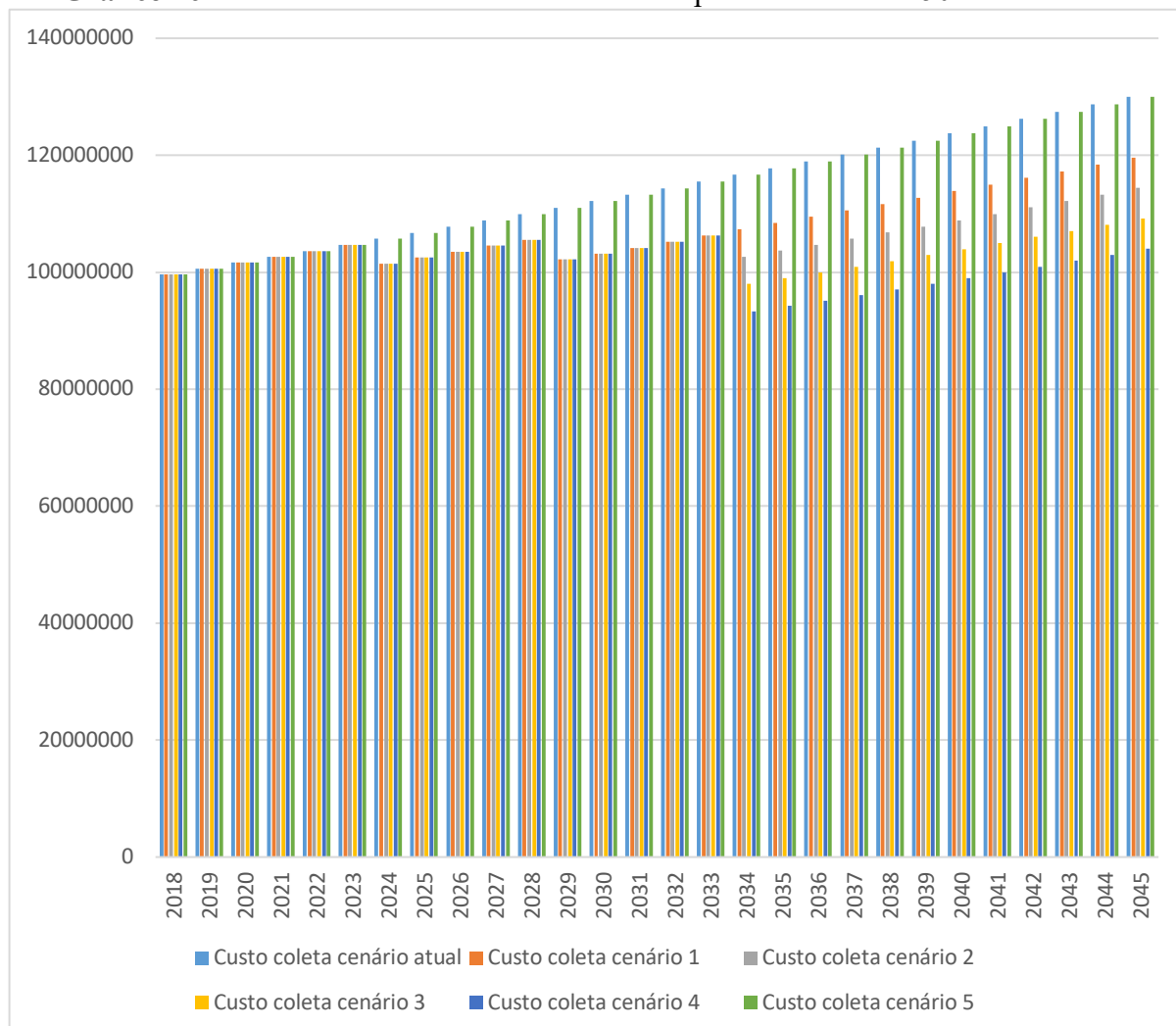
**Gráfico 45** - Quantidade de resíduos destinados ao aterro com reaproveitamento de 50% dos resíduos domiciliares com diferentes cenários



Fonte: Autoria própria (2019).

Em 2045, todos os cenários destinariam 365.201 toneladas de resíduos para o aterro, uma diferença de 4.657.399 de toneladas em 27 anos. O gráfico 47 apresenta o custo de coleta e transportes dos cenários construídos.

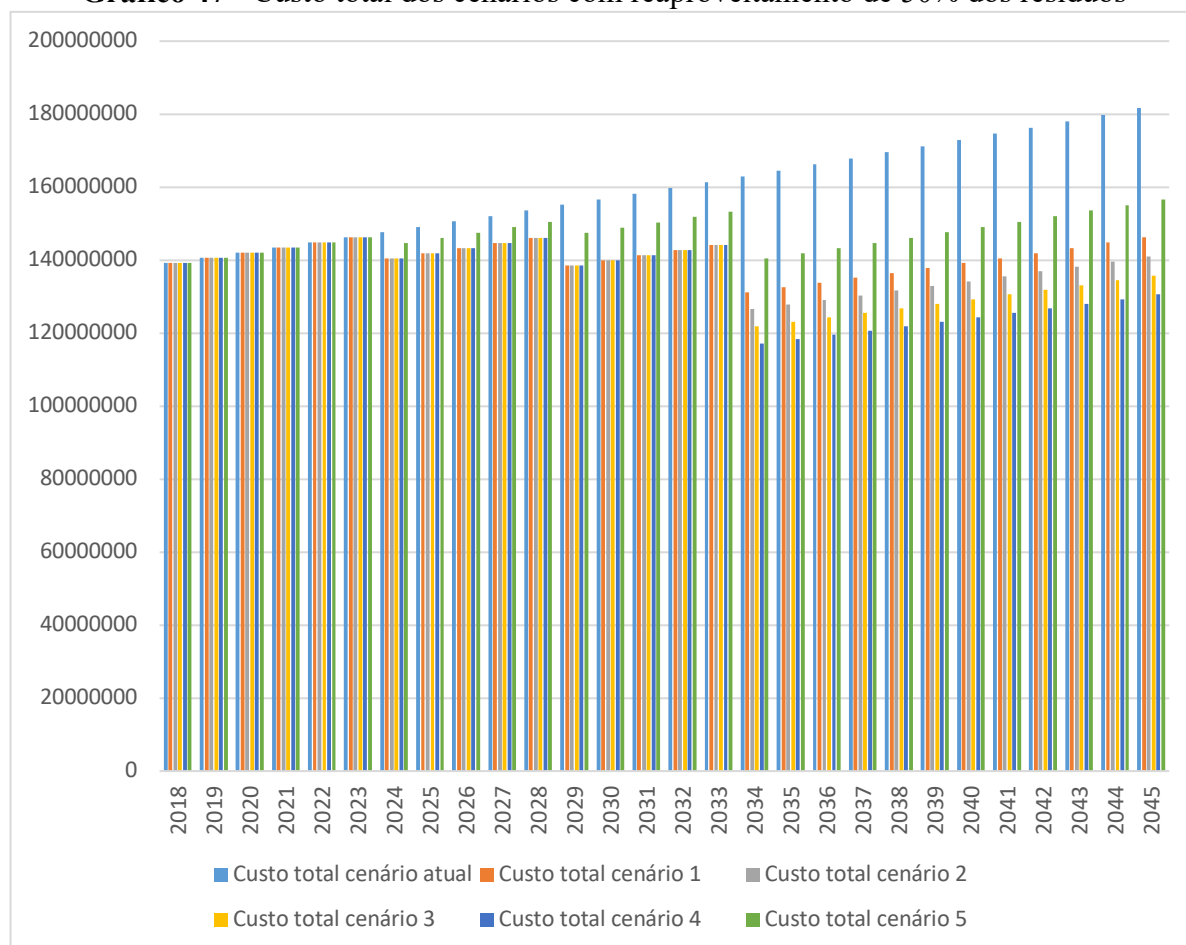
**Gráfico 46 - Custo de coleta dos cenários com reaproveitamento de 50% dos resíduos**



Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 47 apresenta o custo de coleta, o qual é influenciado pelo tratamento descentralizado, isso quer dizer que quanto maior for o tratamento antes de entrar no sistema municipal de tratamento menor custo de coleta. Como o cenário cinco não apresenta um sistema descentralizado de tratamento ele acompanha o valor do cenário atual.

O gráfico 48 apresenta o custo total, o qual é composto pelo custo de coleta diferenciado para cada cenário e o custo de aterramento que é igual para todos os cenários, visto que todos tinha o mesmo o objetivo.

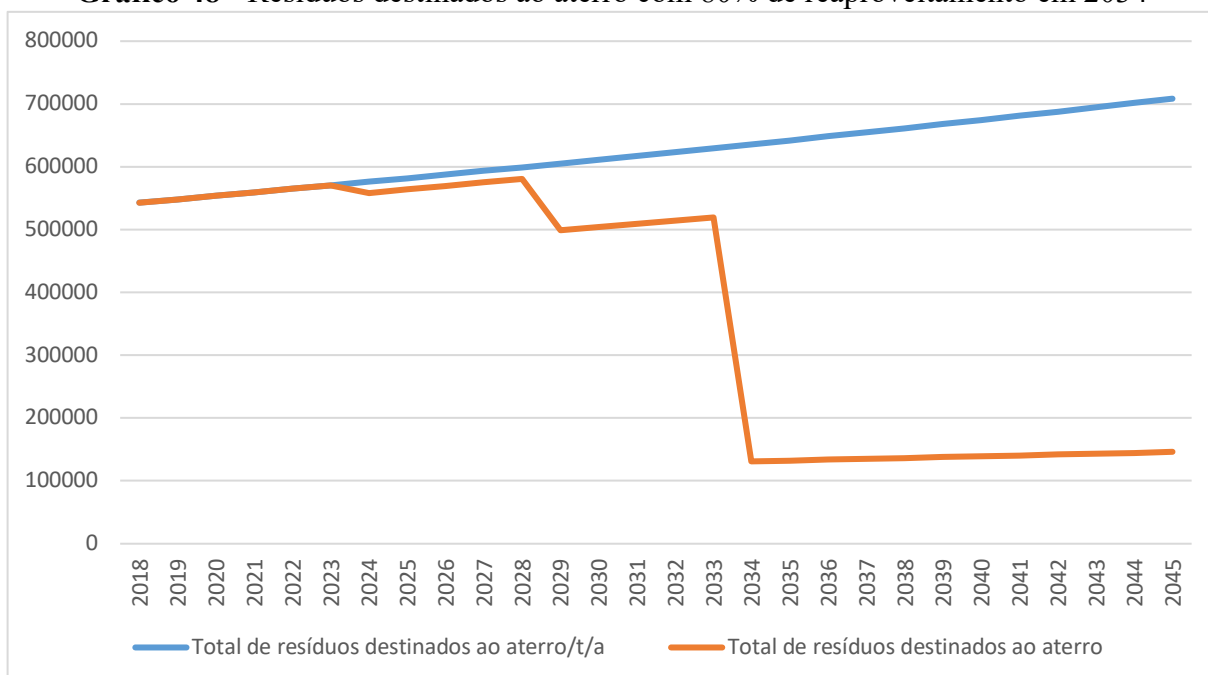
**Gráfico 47 - Custo total dos cenários com reaproveitamento de 50% dos resíduos**

Fonte: Autoria própria (2019).

O gráfico 48 apresenta a redução no custo total dos cenários, todos apresentam diminuições, somente no cenário cinco há apenas a diminuição no custo de aterragem, os demais possuem também uma redução no custo de coleta. As diferenças de valores com o cenário atual variam de 339.477.886 a 702.052.251 de reais.

O último cenário está embasado na economia circular, com somente os rejeitos sendo encaminhados para o aterro, ou seja, 100% dos resíduos orgânicos e secos são reaproveitados, o que representa 80% do total gerado. Os resíduos úmidos são tratados de duas formas, uma de forma doméstica/ comunitária e outra através de usinas de compostagem. Já os resíduos secos são beneficiados nas associações/ cooperativas de catadores.

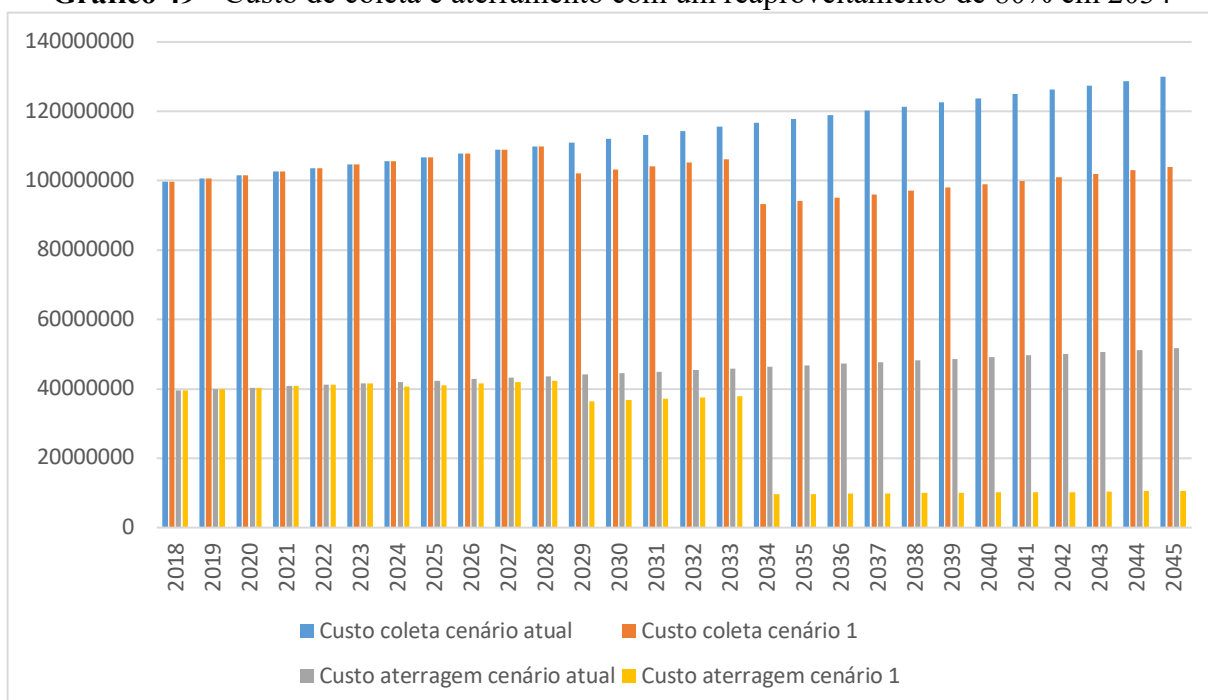
O gráfico 49 apresenta a quantidade de resíduos destinados ao aterro caso os resíduos secos e úmidos compostáveis fossem totalmente reaproveitados.

**Gráfico 48 - Resíduos destinados ao aterro com 80% de reaproveitamento em 2034**

Fonte: Autoria própria (2019).

Se 80% dos resíduos fossem reaproveitados a partir de 2034, em 2045 seria destinado ao aterro 146.081 toneladas de rejeitos. Comparando o cenário atual representaria uma redução de 16.879.392 para 9.850.941, ou seja, diminuiria 41,64%.

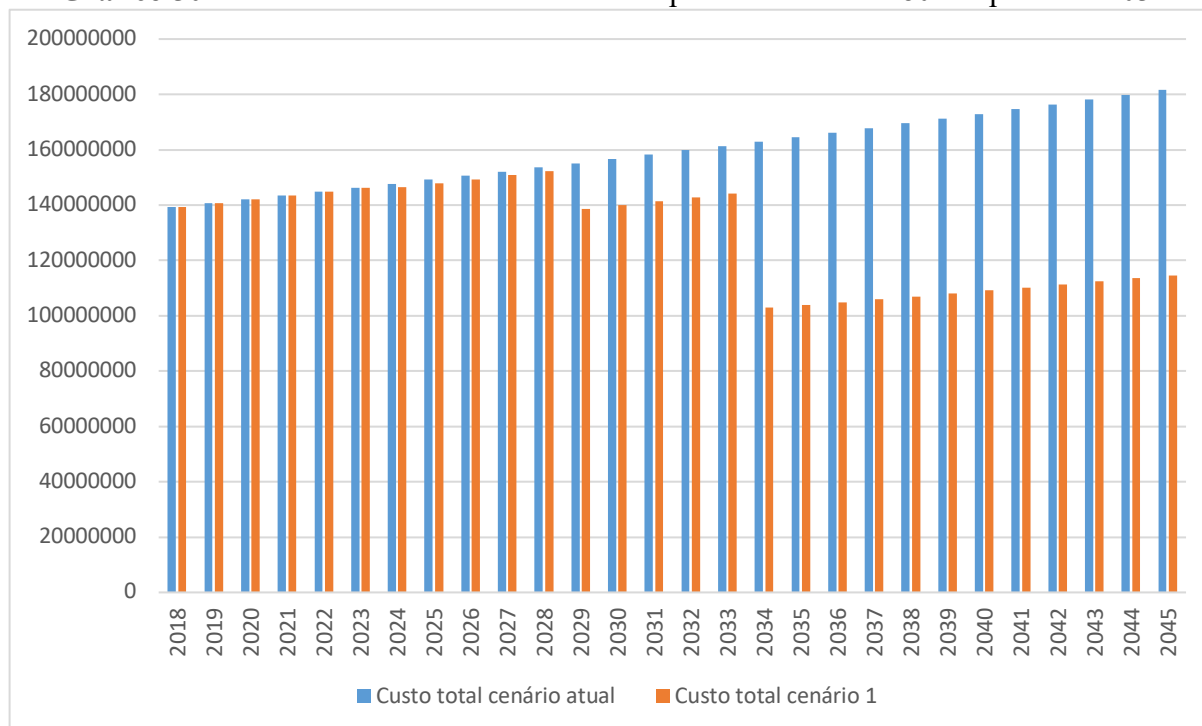
O gráfico 50 apresenta os custos de coleta e de aterragem desta mudança.

**Gráfico 49 - Custo de coleta e aterramento com um reaproveitamento de 80% em 2034**

Fonte: Autoria própria (2019).

O cenário demonstra que no ano de 2045 a diferença do panorama atual e o novo é de 25.998.034,9 de reais para a coleta e de 40.994.064,9 de reais para o aterramento. O gráfico 51 mostra a diferença do custo total com a mudança de 80% e o cenário atual.

**Gráfico 50 - Custo total de um cenário com reaproveitamento de 80% a partir de 2034**



Fonte: Autoria própria (2019).

Ao final de 27 com apenas os rejeitos sendo destinados para o aterro a partir de 2034 a diferença com o cenário atual é de 853.425.998 de reais.

O modelo de dinâmica de sistemas apresentado permitiu a criação dos diversos gráficos apresentados e poderia ter apresentado outros cenários para a gestão dos resíduos sólidos urbanos domiciliares, porém foram criadas as principais possibilidades viáveis encontradas na literatura na tentativa de melhorar o atual sistema.

## 5.5 Resumo dos resultados

A partir dos cenários traçados, foi construído o quadro 62 com as alternativas propostas pelo modelo e as bases para o desenvolvimento da pesquisa, ou seja, o trabalho buscou atender a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, as concepções sobre Economia Circular e as variáveis deficitárias do modelo de avaliação da política municipal apresentados na figura 23, o qual foi desenvolvido a partir de pesquisas passadas.

O atendimento às bases do desenvolvimento do trabalho podem ser diretas ou implícitas e são apresentados no quadro 62. O trabalho não buscou alternativas com o tratamento térmico, logo não há aproveitamento energético, o qual poderia ser feito através dos rejeitos.

**Quadro 62** - Resumo dos resultados do modelo

<b>Cenários/Metas</b>	<b>PNRS</b>	<b>Economia Circular</b>	<b>Variáveis avaliadas para o município</b>
<b>Atual modelo</b>	Não atende o estímulo à implantação da avaliação de ciclo de vida; Padrões sustentáveis de produção e consumo; Não geração, Redução; Reutilização; Reciclagem da porção úmida; Aproveitamento energético	Atende de forma incipiente apenas a reciclagem dos resíduos secos. Não rotulagem de produtos; Eco design; Recuperação energética; Compostagem; Redução da geração e Avaliação de ciclo de vida	Não atende: Consumo consciente; Logística reversa; Ciclo de vida do produto; Comercialização e mercado, Aproveitamento energético, Comércio e articulação do composto; Tratamentos alternativos, Compostagem; e Estação de Transbordo
<b>Centralizado reciclagem material seco</b>	Não geração; Redução; Aproveitamento energético	Não atende a reciclagem da matéria orgânica,	Aproveitamento energético, Comércio e articulação do composto; Tratamentos alternativos, Compostagem.
<b>Centralizado reciclagem material úmido</b>	Não geração; Redução; Reciclagem da porção seca; Aproveitamento energético	Não rotulagem de produtos; Eco design; Recuperação energética; Redução da geração e Avaliação de ciclo de vida	Aproveitamento energético, Logística reversa; Ciclo de vida do produto; Comercialização e mercado
<b>Centralizado reciclagem material seco e úmido</b>	Não geração; Redução; Aproveitamento energético	Recuperação energética e Redução da geração	Aproveitamento energético
<b>Descentralizado</b>	Aproveitamento energético, Reciclagem de material seco	Recuperação energética e reciclagem de material seco/ limitação resíduos úmidos	Aproveitamento energético
<b>Descentralizado e Centralizado</b>	Aproveitamento energético	Recuperação energética	Aproveitamento energético

Fonte: Autoria própria (2019).

A escolha por uma única alternativa descentralizada ou centralizada, ou ainda reciclagem de material seco ou úmido demonstra ser incompleta, ou seja, não resultados satisfatórios sem a união de diferentes ações.

A complementariedade de ambas alcança o maior número de objetivos presentes na PNRS e na Economia Circular.

O quadro 63 apresenta a relação do custo total e a quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário com relação as alternativas apresentadas no modelo e os seus cenários.

**Quadro 63** - Custo e quantidade de resíduos destinados pelos diferentes cenários

<b>Cenários</b>	<b>Quantidade de resíduos destinados ao aterro</b>	<b>Custo de coleta e de aterramento</b>
<b>Atual modelo</b>	Crescente	Crescente
<b>Centralizado reciclagem material seco</b>	Reduz	Há apenas a redução do custo de aterragem
<b>Centralizado reciclagem material úmido</b>	Reduz	Há apenas a redução do custo de aterragem
<b>Centralizado reciclagem material seco e úmido</b>	Reduz	Há apenas a redução do custo de aterragem
<b>Descentralizado</b>	Reduz	Redução no custo de aterragem e de coleta
<b>Descentralizado e Centralizado</b>	Reduz	Redução no custo de aterragem e de coleta

Fonte: Autoria própria (2019).

O próximo capítulo apresenta as considerações finais da pesquisa, as contribuições científicas e as propostas futuras.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS FUTURAS

O capítulo apresenta as considerações sobre o atendimento aos objetivos definidos na pesquisa, as contribuições geradas e as proposições de trabalhos futuros.

### 6.1 Atendimento aos objetivos da pesquisa

Com relação ao objetivo específico de pesquisa apresentar o cenário atual da gestão de resíduos sólidos urbanos de Curitiba, a atual revisão traz um modelo que fez sucesso, principalmente com as campanhas de reciclagem de material seco e projetos que incentivam a criação de associações e cooperativas de reciclagem com a inclusão de catadoras/catadores. Tais ações colocaram o município em evidência e sempre é um *case* estudado, inclusive sendo referência para outros países.

Porém os dados encontrados nas pesquisas demonstram a quantidade quase total de resíduos destinados diretamente para o aterro sanitário, ou seja, que seguem sem nenhum tratamento.

Há uma estagnação da gestão de resíduos sólidos urbanos de Curitiba, o atual modelo não consegue evoluir no reaproveitamento de materiais secos que passou de 5% para 3% de 2010 para 2016. Como a quantidade de resíduos aumenta e a porcentagem de tratamento é limitada, ou seja, se mantém, a tendência é ficar cada vez menor.

Há algumas iniciativas de compostagem descentralizadas principalmente de grandes geradores e de compostagem doméstica, porém ações a nível centralizado hoje são incipientes.

Os Planos de Gestão Integrada de Curitiba desde 2010 mencionam diversas estratégias para a melhora da gestão como: criação de uma estação de transbordo, um parque de tratamento de resíduos, compostagem, aumento no reaproveitamento de resíduos secos, criação de novas cooperativas, porém todas estas ideias saem parcialmente do papel. Como a abertura do credenciamento para novas cooperativas de reciclagem do resíduo seco no final de 2018.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos é de 2010. A partir daí, Curitiba desenvolveu vários Planos e todos com um mesmo objetivo e que parece também com o mesmo fim. Caso nada seja devidamente alterado o panorama atual, ele continuará a servir de base para a comparação dos diversos cenários desenvolvidos.

Para responder o objetivo específico identificar as variáveis que ainda não estão alinhadas com a Política Nacional de Resíduos Sólidos no município foi extraído um dos resultados da pesquisa de Silva, Fugii e Santoyo (2017) que respondem esta pergunta.

O resultado foi atualizado e complementado por meio das entrevistas. Entre as variáveis retratadas estão consumo consciente, planejamento, ciclo de vida do produto, logística reversa, tratamentos alternativos, compostagem, transporte, estação de transbordo e aterro sanitário.

A partir disso, foi construído o modelo levando em conta estas variáveis, a metodologia de Dinâmica de Sistemas, a Política Nacional de Resíduos Sólidos e as concepções relacionadas a Economia Circular, que respondem o objetivo específico de construção de um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos.

As entrevistas, as pesquisas bibliográficas e documentais forneceram os dados mais atuais para a aplicação do modelo construído e gerou um panorama futuro de base para a comparação dos outros cenários gerados. Estas ações serviram para responder os dois últimos objetivos específicos: aplicar o modelo com base na atual situação da gestão de resíduos sólidos urbanos domiciliares em Curitiba e comparar os diferentes cenários.

O modelo apresentado na figura 24 fornece uma base para cenários futuros levando em conta os valores mais atuais (2018), ou seja, imagina o futuro de acordo com o atual modelo praticado. Não corrige os preços dos custos caso ocorra uma inflação ou deflação.

Os cenários desenvolvidos servem para auxiliar no planejamento, na tomada de decisão e na implantação de políticas públicas. De acordo com os cenários gerados, a criação de uma estação de transbordo poderia reduzir o custo total no melhor panorama em aproximadamente 620.000.000 de reais, para tanto seria necessário a construção de estação até o ano de 2024 e com uma redução de 24% no custo.

Este cenário demonstra que uma estação de transbordo pode reduzir o preço total ao final de 27 anos em mais de 11% e quanto antes for construído maior é a economia financeira. A estação de transbordo reduzirá o custo mesmo se não chegar a uma taxa de 24%. Entretanto o modelo não leva em conta o custo necessário para construção e manutenção de uma estação de transbordo. Logo uma redução de 11% no total não seria alcançada, a não ser que a taxa de redução fosse maior que 24% e que cobrisse os custos de tal instalação.

Caso o município resolvesse atuar somente nesta opção poderia haver uma redução no custo final, ou seja, uma melhora financeira, no entanto não reduziria a quantidade de resíduos destinados ao aterro e o custo de aterramento.

Já os cenários que apresentam uma redução nos resíduos destinados ao aterro através do reaproveitamento do resíduo seco e da compostagem centralizada representam uma redução no custo de aterramento que corresponde a 29% do custo total, ou seja, há uma diminuição tanto financeira como de materiais dispostos em aterros. Tais materiais que possuem valor econômico, energético e nutritivo que poderiam ser beneficiados e negociados gerando novas fontes financeiras.

A escolha por ampliar e melhorar a cadeia do reaproveitamento de resíduos secos possui um limite e de acordo com o estudo gravimétrico é de 40% do total de resíduos. Optar apenas por esta ação representa atender a lógica da Economia Circular e parcialmente a Política Nacional de Resíduos Sólidos, pois não deixa de gerar os resíduos e conseqüentemente não reduz a sua produção. Mas atende a reutilização, a reciclagem de materiais e promove ou deveria promover a inclusão social e a criação e ampliação de uma rede de reciclagem de resíduos secos. Considerando também os preceitos do desenvolvimento sustentável, ou seja, o reaproveitamento de forma circular de materiais sem que prejudique a produção e a economia garantindo as condições atuais para as gerações futuras, tal ações são mais sustentáveis que apenas uma redução no custo de coleta e transporte por meio de um sistema de transbordo. A circulação dos materiais secos exclui a possibilidade de sua incineração, apesar de possuir um potencial energético.

O cenário que apresenta uma via alternativa para o tratamento dos resíduos úmidos compostáveis de forma descentralizada atende plenamente o artigo 9º da PNRS, o qual cita a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010a).

Tal cenário depende a atitude e mudança de comportamento da sociedade, a qual passaria a compostar os resíduos úmidos em seus domicílios ou de forma comunitária em condomínios, hortas urbanas, hortos municipais, escolas, universidades entre outros.

A ação depende da divulgação e esclarecimento necessitando de uma educação ambiental e sanitária. A qual sensibilizaria a população e a tornaria mais participativa, despertando um consumo consciente contribuindo para a correta segregação dos resíduos, melhorando o aproveitamento dos resíduos secos e a possibilidade de tratamento dos demais resíduos úmidos não tratados descentralizadamente.

O atual Plano de Gestão Integrada de Resíduos do município menciona estratégias que mencionam a compostagem domiciliar e as oportunidades de aproveitamento dos materiais dela oriundos. Suas ações estão voltadas para o incentivo da prática, entretanto não menciona quando será implementada. Porém demonstra o conhecimento de tal tratamento, bem como

suas potencialidades, apesar de mencionar outras estratégias desde 2010 que nunca saíram do papel.

Outra ação que pode impactar financeiramente o custo da gestão é a estação de transbordo, presente no Plano Municipal de Gestão Integrada desde 2010. Conforme foi demonstrado através de uma outra pesquisa, a redução pode chegar a 24% do custo da coleta e transporte, elevando ainda mais a economia em conjunto com as outras intervenções.

Pensando em uma gestão baseada na Economia Circular faltaram para o modelo alternativas para o tratamento dos rejeitos, as quais poderiam ser repensadas, como por exemplo o seu desenvolvimento e o ciclo de vida ou utilizar o aproveitamento energético, o qual necessitaria de uma pesquisa de viabilidade e consta no Plano Municipal de Gestão Integrada.

## **6.2 Contribuições científicas**

O modelo proposto na figura 24 contribui para enxergar a médio e longo prazo a quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário e os custos de uma determinada gestão, bem como as relações das variáveis que compõem o sistema dinâmico.

Tal modelo pode ser aplicado a outros municípios auxiliando o planejamento estratégico, a tomada de decisão e na implementação de políticas públicas.

Por meio dos cenários é possível ter uma ideia das consequências futuras e como proceder para obter um determinado objetivo, seja ele financeiro, de redução de materiais destinados ao aterro sanitário ou ambos.

O modelo demonstrou que é possível alcançar as prioridades de ações estabelecidas pela PNRS, utilizando apenas um tratamento descentralizado de resíduos úmidos compostáveis, o qual pode favorecer também o desenvolvimento de uma agricultura orgânica e reduzir a dependência por fertilizantes sintéticos. Mas, necessita de uma mudança no comportamento da sociedade, assim como sua participação. Porém, apenas ela não resolve os demais problemas relacionados a geração dos resíduos pois representa 40%.

Assim, reforça que a prática de uma Economia Circular é possível contribuir de forma mista para atender as demandas expostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e de um sistema sustentável. Com relação aos tratamentos centralizados, para sua melhora há a necessidade de uma melhor segregação dos resíduos, ou seja, que ela fosse realizada através de três tipos: os resíduos úmidos compostáveis, os secos e os rejeitos.

Demonstra também que a intenção não é capaz de mudar uma realidade, pois o Plano Municipal faz menção às alternativas desenvolvidas no modelo, falta uma maior reivindicação, participação e avaliação da sociedade nos processos de políticas públicas que envolve a cadeia de resíduos sólidos urbanos domiciliares.

### **6.3 Proposição de trabalhos futuros**

O trabalho apresenta a evolução da quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário e os custos de coleta e de aterramento com o passar do tempo. Porém possui suas limitações, não inclui no sistema o custo de instalação e manutenção das estruturas necessárias para a aplicação de determinadas ações. Outros custos não adicionados são a formulação e implantação de política públicas, propagandas, capacitações e educação ambiental que alterem o comportamento da população e incentivem sua participação, além dos outros custos referentes a manutenção da gestão e do atual modelo.

Desta forma há a necessidade de encontrar estas informações para complementar as informações extraídas do modelo, assim possibilitando custo total exato de um sistema integrado de gestão de resíduos sólidos urbanos, em especial aos domiciliares.

O modelo não apresenta uma solução para os rejeitos que representam 20% do total dos resíduos totais gerados. Para propor algo é necessária uma pesquisa com formas alternativas de tratamento que priorize a circulação destes materiais ao invés de aproveitar somente sua capacidade energética.

Para melhorar e difundir o tratamento descentralizado do resíduo úmido compostável o trabalho sugere um levantamento da quantidade de resíduos que hoje são reaproveitados e que não entram nas estatísticas do município, assim ampliando a difusão de tal prática e conhecimento.

Para melhorar o reaproveitamento dos resíduos secos, sua logística reversa, a responsabilidade compartilhada e a sua circularidade a pesquisa propõe uma pesquisa de campo nas associações/cooperativas de reciclagem. Tal pesquisa buscaria identificar de forma minuciosa os diversos tipos/ subgrupos de materiais que hoje são classificados genericamente por vidro, plástico, papel e alumínio.

Este estudo de campo teria como objetivos identificar os materiais secos que hoje não são reaproveitados e a proposição de mudanças para seus fabricantes, alterando o seu desenho e composição para um material ecológico. Ao final seria construído uma cartilha detalhada dos materiais que são reaproveitados, além de outras formas de divulgação para o

conhecimento da população em busca de um consumo consciente, bem como segregar os resíduos da melhor maneira.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólido – classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591**: Informação e documentação – Compostagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2011**. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_envio.cfm?ano=2011](http://www.abrelpe.org.br/panorama_envio.cfm?ano=2011). Acesso em: 17 jun. 2012.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012**. São Paulo: 2012. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2012.pdf> . Acesso em: 25 jun. 2013.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2013**. São Paulo: 2013. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_envio.cfm?ano=2013](http://www.abrelpe.org.br/panorama_envio.cfm?ano=2013). Acesso em: 17 jun. 2016.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2014**. São Paulo: 2014. Disponível em: [http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_edicoes.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm). Acesso em: 17 jun. 2016.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. São Paulo: 2015. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2016.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo: 2017. Disponível em: <http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>. Acesso em: 11 fev. 2019.

ABREU, Marcos J. de. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos**: o caso do Projeto Revolução dos Baldinhos (PRB), Capital Social e Agricultura Urbana. 2013. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

ADORNO, Theodor. **Indústria cultural e sociedade**. São Paulo: Paz e Terra, 2002.

AFONSO, Michele H. F. *et al.* Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 5, n. 2, p. 47-62, mai/ago. 2011.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELEÉTRICA. **Nota Técnica nº 0043/2010-SRD/ANEEL**. Disponível em: [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica\\_0043\\_GD\\_SRD.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0043_GD_SRD.pdf). Acesso em: 17 jun. 2012.

- AGUIÑAGA, Eduardo; SCHEEL, Carlos. Developing a Regional Circular Value Ecosystem Based on Residues and Wastes: The Case of Higuera Village, Mexico. *In: SYSTEM DYNAMICS CONFERENCES*, 2015, Cambridge. **Anais [...]**, 2015.
- ALA-HARJA, Marjukka; HELGASON, Sigurdur. Em direção às melhores práticas de avaliação. **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 51, n. 4, p. 5-59, out./dez. 2000.
- AMORIN, Vanessa F. *et al.* Vermicompostagem doméstica como alternativa na decomposição de resíduos orgânicos. In: 10º SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, Porto Alegre, 2016. **Anais [...]** Disponível em: [http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/\\_arqTrabalhos/trab\\_2016092919\\_4143000000987.pdf](http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_2016092919_4143000000987.pdf). Acesso em: 19 fev. 2019.
- ANDERSEN, Jacob Kragh *et al.* Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. **Waste Management**, v. 30, n. 12, p. 2475-2482, 2010.
- ANDERSEN, Mikael S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 133-140, 2007.
- ARACIL, Javier. **Dinámica de Sistemas**. 1. ed. Madrid: Isdefe, 1995.
- ARACIL, Javier. **Introducción a la dinámica de sistemas**. 1 ed. Madrid: Alianza Editorial, 1983.
- ARAÚJO, Carlos A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em questão**, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.
- ARRETCHE, Marta. Dossiê agenda de pesquisa em políticas públicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 18, n. 51, p. 7-9, fev. 2003.
- ARRETCHE, Marta. Tendências no estudo sobre avaliação. *In: RICO, Elizabeth Melo (Org.). Avaliação de políticas sociais: uma questão em debate*. São Paulo: Cortez, 1998. p. 29-39.
- BABADER, Ahmed *et al.* A system dynamics approach for enhancing social behaviours regarding the reuse of packaging. **Expert Systems with Applications**, v. 46, p. 417-425, 2016.
- BALMANT, Wellington. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biogestão anaeróbica**. 2009. Dissertação (Mestrado em Processos Térmicos e Químicos) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BARBIERI, José Carlos; DIAS, Marcio. Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentáveis. **Revista Tecnológica**, São Paulo, n. 77, p. 58-69, 2002.
- BARBOSA, Jonei C. Modelagem Matemática: O que é? Por que? Como? **Veritati**, n. 4, p. 73-80, 2004.
- BARDACH, Eugene. Policy Dynamics. *In MORAN, Michel; REIN Martin; GOODIN, Robert E. The Oxford Handbook of Public Policy*. Oxford: Oxford, 2006, p. 336-366.



BARDI, Ugo *et al.* Peak waste? The other side of the industrial cycle. **Sustainability**, v. 6, n. 7, p. 4119-4132, 2014.

BARNECH CAMPANI, Darci *et al.* Estudo da viabilidade de tratamento, por fermentação láctica, de resíduos folhosos da Ceasa-RSde Porto Alegre. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental No. 22; V Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental*. ABES, 2003. p. 1-6.

BARREIRA, Luciana Pranzetti. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BASSI, Nádia. S. S.; SILVA, Christian. L. O uso de estudos prospectivos no processo de políticas públicas. **Revista de Políticas Públicas**, Maranhão, v. 15, p. 315-325, 2011.

BAUMAN, Zygmunt. **Vida para o consumo: a transformação das pessoas em mercadorias**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008.

BECK, Ulrich. **Sociedade de risco: rumo a uma outra modernidade**. 2 ed. São Paulo: 34, 2011.

BELIK, Walter; DE ALMEIDA CUNHA, Altivo R. A.; COSTA, Luciana A. Crise dos alimentos e estratégias para a redução do desperdício no contexto de uma política de segurança alimentar e nutricional no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 38, p. 107-132, 2012.

BEVER, Michael B. Systems aspects of materials recycling. **Conservation & Recycling**, v. 2, n. 1, p. 1-17, 1978.

BIDONE, Francisco A. (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001.

BONELLI, Regis; VEIGA, Pedro. Motta. A dinâmica das políticas setoriais no Brasil na década de 1990: continuidade e mudança. **Revista Brasileira de Comércio Exterior**, v. 75, p. 1-25, 2003.

BRAGA, Maria C. B.; RAMOS, Sonia I. P. Desenvolvimento de um modelo de banco de dados para sistematização de programas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos em serviços de limpeza pública. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, jun. 2006.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei n. 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2001.

BRASIL. Lei nº. 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 06 abr. 2005.

BRASIL. Lei nº 11445 de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 5 jan. 2007. p 13.

BRASIL. Decreto nº. 6.017, de 17 de janeiro de 2007. Regulamenta a Lei nº. 11.107, de 6 de abril de 2005, que dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 17 jan. 2007.

BRASIL. Decreto-Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 03 ago. 2010.

BRASIL. Decreto nº. 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 21 jun. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2012. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/253/\\_publicacao/253\\_publicacao02022012041757.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf). Acesso em: 03 jun. 2013.

BRASIL. Lei nº 13.089 de 12 de Janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole, altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 2015.

BRUNDTLAND, Gro H. *et al.* Em busca do desenvolvimento sustentável. *In: COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVILVIMENTO. Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: FGV, 1991. p. 172-182.

BURKE, James L.; ORSTEIN, Robert. **O presente do fazedor de machados: os dois gumes da história da cultura humana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed., São Paulo: Humanitas, 1999.

CÂMARA, Fabiane Mendes *et al.* Caracterização dos resíduos gerados na Ceasa paulistana sob a ótica da saúde ambiental e segurança alimentar. **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 21, n. 1, p. 395-403, 2014.

CAPELLA, Ana C. N. Perspectivas teóricas sobre o processo de formulação de políticas públicas. *In: HOCHMAN, Gilberto (org.). Políticas públicas no Brasil*. 20. Ed. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 2007. p. 87-124.

CERDA, Alejandra *et al.* Composting of food wastes: status and challenges. **Bioresource technology**, v. 248, p. 57-67, 2017.

CERVO, Amado. L.; BERVIAN, Pedro. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CHAERUL, Mochammad; TANAKA, Masaru; SHEKDAR, Ashok V. A system dynamics approach for hospital waste management. **Waste Management**, v. 28, n. 2, p. 442-449, 2008.

CHATTERJEE, Biswabandhu; MAZUMDER, Debabrata. Anaerobic digestion for the stabilization of the organic fraction of municipal solid waste: A review. **Environmental Reviews**, v. 24, n. 4, p. 426-459, 2016.

CHURCHMAN, Charles. W. 2. ed. **Introdução à teoria dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 2015.

COELHO, Hosmanny M. G. *et al.* Proposta de um Índice de Destinação de Resíduos Sólidos Industriais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, Sept. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522011000300014&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522011000300014&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 12 ago. 2013.

COMISSÃO EUROPEIA. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe. **Comisión Europea**, 2014. Disponível em: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f01aa75ed71a1.0009.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f01aa75ed71a1.0009.02/DOC_1&format=PDF). Acesso em: 14 fev. 2019.

CONRESOL – CONSÓRCIO INTERMUNICIPAL PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **Plano de gerenciamento do tratamento e destinação de resíduos sólidos urbanos**. Curitiba, 2018. Disponível em: Acesso em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2018/00233057.pdf>. 9 mar. 2019.

COSTA, Adriano B. **Tecnologia Social e Políticas Públicas**. São Paulo: Instituto Pólis, Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2013. Disponível em: [https://www.fbb.org.br/data/files/74/F0/9D/40/74652410D7D06524BD983EA8/LivroTSePolíticasP\\_blicas.pdf](https://www.fbb.org.br/data/files/74/F0/9D/40/74652410D7D06524BD983EA8/LivroTSePolíticasP_blicas.pdf). Acesso em: 18 de set. 2015.

COSTA, Herlane S. Estação de transferência de resíduos sólidos domiciliares: Histórico e proposta de procedimentos para o seu planejamento e controle operacional. **HOLOS Environment**, v.5, n.1, p. 37-51, 2005.

COSTA, João P. F. da. **Tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos urbanos: avaliação do seu potencial para a recuperação de materiais recicláveis**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos) - Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2010.

COSTA, Luciana Assis *et al.* Capacidade de resposta de Bancos de Alimentos na captação, distribuição e redução de desperdício de alimentos. **Revista Baiana de Saúde Pública**, v. 38, n. 1, p. 30-48, 2014.

COSTA, Mariana L. S. **Estudo de Processos de Compostagem Centralizada e Doméstica Aplicáveis à Empresa Ambisouza**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

COTTA, Tereza Cristina. Avaliação educacional e políticas públicas: a experiência do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Básica (Saeb). **Revista do Serviço Público**, Brasília, v. 52, n. 4, p. 89-110, out./dez. 2001.

CRESPO, Tomás. **Respuestas a 16 preguntas sobre el empleo de expertos em la investigación pedagógica**. 1 ed. Lima: San Marcos, 2007.

CUNHA, Valeriana; CAIXETA FILHO, José V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. **Gestão & Produção**, v. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.

CURITIBA. Lei Municipal no 6.817 de 2 de janeiro de 1986. Dispõem sobre a estrutura organizacional da administração municipal. Palácio 29 de março, Curitiba, 02 de janeiro de 1986. Disponível em: <<http://cm-curitiba.jusbrasil.com.br/legislacao/734903/lei-6817-86>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Plano de gestão integrada de resíduos sólidos**. Curitiba, 2010. Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00084142.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2014.

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Plano Municipal de Saneamento: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba, 2013. 169p. Disponível em: <http://www.curitiba.pr.gov.br/multimidia/00142058.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2014.

CURITIBA. . Prefeitura Municipal de Curitiba. **Plano Municipal de Saneamento: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**. Curitiba, 2017. 186p. Disponível em: <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2017/00211737.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2019.

DA SILVA, João D. P. **Papel do Tratamento Mecânico e Biológico na Gestão de Resíduos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2016.

DA SILVA, Kaio L. *et al.* Minhocário de Baixo Custo Uma Alternativa Viável para o Reaproveitamento de Resíduos Orgânicos Domésticos. **Revista da META**, v.1, n.1, p.386 – 392, 2018.

DA SILVA, Márcia Regina; HAYASHI, Carlos Roberto Massao; HAYASHI, Maria Cristina Piumbato Innocentini. Análise bibliométrica e cientométrica: desafios para especialistas que atuam no campo. **InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação**, v. 2, n. 1, p. 110-129, 2011.

DA SILVA, Suziany S. *et al.* Fabricação de composteira artesanal para produção de adubo orgânico na Escola Municipal Maria José de Albuquerque, Arara,PB. **Revista Scire**,v.9, n. 1, p. 1-11, 2016.

DACE, Elina *et al.* System dynamics model for analyzing effects of eco-design policy on packaging waste management system. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p. 175-190, 2014.

DAGNINO, Renato; BRANDÃO, Flávio. C.; NOVAES, Henrique. T. Sobre o marco analítico-conceitual da Tecnologia Social. *In*: DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia Social: Ferramenta para construir outra sociedade**. 2.<sup>a</sup> ed Campinas: Komedi, 2010.

DAGNINO, Renato. A Tecnologia Social e seus desafios. *In*: DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia Social: Ferramenta para construir outra sociedade**. 2.<sup>a</sup> ed Campinas: Komedi, 2010. p. 53-70.

DAGNINO, Renato. Apresentação. *In*: DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia Social: Ferramenta para construir outra sociedade**. 2.<sup>a</sup> ed. Campinas: Komedi, 2010. p. 7-22.

DE MARTINO JANNUZZI, Paulo. Considerações sobre o uso, mau uso e abuso dos indicadores sociais na formulação e avaliação de políticas públicas municipais. **Revista de Administração Pública**, v. 36, n. 1, p. 51-72, 2002.

DEATON, Michael. L.; WINEBRAKE, James. J. **Dynamic Modelling of Environmental Systems**. New York: Springer-Verlag, 2000.

DEMAJOROVIC, Jacques.; BENSEN, Gina. R.; RATHSAM, Alexandre. A. Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face à lógica do mercado (2004). **ENCONTRO ANPPAS**, v. 2, 2006.

DERLIEN, Hans-Ulrich. Una comparación internacional en la evaluación de las políticas públicas. **Revista do Serviço Público**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 1, p. 105-122, jan./mar. 2001.

DIAS, David M. Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos com base de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, sept. 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522012000300009&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522012000300009&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 12 ago. 2013.

DO NASCIMENTO, Sueli. Reflexões sobre a intersectorialidade entre as políticas públicas Reflection about intersecting public policies. **Serviço Social & Sociedade**, v. 95, n. 101, p. 95-120, 2010.

DYE, Thomas R. **Understanding public policy**. 13 ed. New Jersey: Pearson Education, 2011.

DYSON, Brian; CHANG, Ni-Bin. Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. **Waste management**, v. 25, n. 7, p. 669-679, 2005.

EASTON, David. **A Framework for Political Analysis**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1965.

ECONOMOPOULOS, Alexander P. Planning Tools and Procedures for Rational Municipal Solid Wastes Management. *In*: KARAGIANNIDIS, Avraam K. **Waste to Energy: opportunities and challenges for developing and transition economies**. London: Springer, 2012.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Assessing the Efficiency of a PSS Solution for Waste Collection: A Simulation Based Approach. **Procedia CIRP**, v. 47, p. 252-257, 2016.

EllenMacArthur Foundation. Circular economy indicators—An approach to measuring circularity. **Ellen MacArthur Foundation**, 2018. Disponível em: [www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/insight/](http://www.ellenmacarthurfoundation.org/programmes/insight/). Acesso em: 14 mai 2018.

EPSTEIN, Eliot. **Industrial composting: environmental engineering and facilities management**. Boca Raton :CRC Press, 2011.

ERIKSSON, Ola *et al.* Municipal solid waste management from a systems perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 3, p. 241-252, 2005.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. **Official Journal of the European Union**, v. 312, p. 3-30, 2008.

FADE - FUNDAÇÃO DE APOIO AO DESENVOLVIMENTO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Recife, 2012. Disponível em: <http://www.tecnologiasresiduos.com.br/secao/publicacao/>. Acesso em: 23 mai. 2013.

FAN, Chihhao *et al.* Modeling computer recycling in Taiwan using system dynamics. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 128, p. 167-175, 2018.

FARIA, Carlos Aurélio Pimenta de. A política da avaliação de políticas públicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, São Paulo, v. 20, n. 59, p. 97-109, out. 2005.

FEENBERG, Andrew. Racionalização Subversiva: Tecnologia, Poder e Democracia. *In*: NEDER, Ricardo T. (org.) **A teoria crítica de Andrew Feenberg: racionalização democrática, poder e tecnologia**. Brasília: Observatório do Movimento pela Tecnologia Social na América Latina / CDS / UnB / Capes, 2010. p. 67-95.

FEENBERG, Andrew. **Transforming Technology: a Critical Theory Revisited**. 2.<sup>a</sup> ed. Oxford: Oxford University Press, 2002.

FEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais/ Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Belo Horizonte: FEAM, 2012.

FERREIRA, João A.; DOS ANJOS, Luiz A. Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais. **Cad. Saúde Pública**, v. 17, n. 3, p. 689-696, 2001.

FONSECA, Rodrigo; SERAFIM, Milena. A Tecnologia Social e seus arranjos institucionais. *In*: DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia Social: ferramenta para construir uma outra sociedade**. Campinas: Komedi, 2010. p. 249-264.

FORRESTER, Jay W. Counterintuitive behavior of social systems. **Theory and Decision**, v. 2, n. 2, p. 109-140, 1971.

FORRESTER, J. W. **Industrial Dynamics**. Cambridge: Mit Press, 1961.

- FORRESTER, Jay W. **Industrial dynamics**. 1 ed. Massachusetts: Martino Publishing, 2013.
- FORRESTER, Jay W. The beginning of system dynamics. **McKinsey Quarterly**, p. 4-17, 1995.
- FORRESTER, Jay Wright; FORRESTER, Jay W. **Urban dynamics**. Cambridge: MIT press, 1969.
- FREY, Klaus. Políticas públicas: um debate conceitual e reflexões referentes à prática da análise de política públicas no Brasil. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 21, p. 211-259, jun. 2000.
- FUGII, Gabriel M. **Determinação de variáveis relevantes para proposição e avaliação de políticas públicas de gestão de resíduos sólidos urbanos: um estudo aplicado ao município de Curitiba**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- FUGII, Gabriel M. BOLSON, Camille R. SILVA, Christian L. da. Sociedad o suciedad. *In: VII JORNADAS LATINOAMERICANAS DE ESTUDIOS SOCIALES DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA*, 2018, Santiago **Anais [...]**, 2018.
- GALBIATI, Adriana F. O gerenciamento integrado de resíduos sólidos e a reciclagem. **SILVA**, p. 7-8, 2001.
- GARCÍA, Juan M. **Dinámica de Sistemas**. Conceptos. Barcelona: Ed. do Autor, 2004.
- GARCÍA, Juan M. **Ejercicios avanzados en Dinámica de Sistemas**. Barcelona: Ed. do autor, 2008.
- GARCÍA, Juan M. **Teoría e ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas**. Barcelona: Ed. do autor, 2003.
- GARCIA, Sara G. Economía circular: la unión europea impulsa reformas sobre la base de un tema crucial, la gestión de residuos, con el fin de alcanzar mejoras económicas y medioambientales. **Revista Actualidad Jurídica Ambiental**, n. 57, p. 1-11, 2016.
- GEISSDOERFER, Martin *et al.* The Circular Economy—A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 757-768, 2017.
- GELINSKI, Carmen R. O.G. SEIBEL, Erni J. Formulação de política públicas: questão metodológicas relevantes. **Revista de Ciências Humanas**, Florianópolis, EDUSC, v. 42, n. 1 e 2, p. 227-240, abr./out. 2008.
- GENG, Yong *et al.* Measuring China's circular economy. **Science**, v. 339, n. 6127, p. 1526-1527, 2013.
- GENG, Yong *et al.* Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 23, n. 1, p. 216-224, 2012.

GEORGIADIS, Patroklos. An integrated system dynamics model for strategic capacity planning in closed-loop recycling networks: A dynamic analysis for the paper industry. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 32, p. 116-137, 2013.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GIL, Antônio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIUDICIANNI, Paola *et al.* Thermal and mechanical stabilization process of the organic fraction of the municipal solid waste. **Waste management**, v. 44, p. 125-134, 2015.

GLANZEL, Wolfgang. Bibliometrics as a research field: a course on theory and application of bibliometric indicators. **Course Handouts**, 2003. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/242406991\\_Bibliometrics\\_as\\_a\\_research\\_field\\_A\\_course\\_on\\_theory\\_and\\_application\\_of\\_bibliometric\\_indicators](https://www.researchgate.net/publication/242406991_Bibliometrics_as_a_research_field_A_course_on_theory_and_application_of_bibliometric_indicators). Acesso em: 13 fev. 2019.

GODET, Michel *et al.* “**A caixa de ferramentas**” da prospectiva estratégica. Caderno n. 5. Lisboa: Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégia, 2000.

GONÇALVES, Pólita. **A reciclagem integradora dos aspectos ambientais sociais e econômicos**. Rio de Janeiro: DP&A/FASE, 2003.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciênc. Saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, jun. 2012.

GRAZHDANI, Dorina. Assessing the variables affecting on the rate of solid waste generation and recycling: An empirical analysis in Prespa Park. **Waste Management**, v. 48, p. 3-13, 2016.

GUERRERO, Lilliana A.; MAAS, Ger; HOGLAND, William. Solid waste management challenges for cities in developing countries. **Waste management**, v. 33, n. 1, p. 220-232, 2013.

GUIDONI, Lucas Lourenço Castiglioni *et al.* Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. **Journal of environmental management**, v. 207, p. 141-150, 2018.

GUO, Huaqing *et al.* System dynamics-based evaluation of interventions to promote appropriate waste disposal behaviors in low-income urban areas: A Baltimore case study. **Waste Management**, v. 56, p. 547-560, 2016.

HAAS, Willi *et al.* How circular is the global economy?: An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European Union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, v. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.



HAGOS, Kiros *et al.* Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1485-1496, 2017.

HAO, Jian. L.; HILLS, Martyn. J.; HUANG, T. A simulation model using system dynamic method for construction and demolition waste management in Hong Kong. **Construction Innovation**, v. 7, n. 1, p. 7-21, 2007.

HAUG, Roger T. **The practical handbook of compost engineering**. Londres :Routledge, 2018.

HOORNWEG, Daniel; THOMAS, Laura; OTTEN, Lambert. Composting and its applicability in developing countries. **World Bank working paper series**, v. 8, p. 1-41, 1999.

HORKHEIMER, Max; ADORNO; Theodor W. **Dialética do esclarecimento**: fragmentos filosóficos. 3. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1991.

HOTTLE, Troy A. *et al.* Toward zero waste: composting and recycling for sustainable venue based events. **Waste Management**, v. 38, p. 86-94, 2015.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de S. **Minidicionário Houaiss de língua portuguesa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Objetiva, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico: 2008. **IBGE**, 2010. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias /imprensa/ppts/0000000105.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto interno bruto dos municípios, **IBGE**, 2016. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros /liv101630 \\_informativo.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros /liv101630 _informativo.pdf). Acesso em: 12 fev. 2019.

ILIĆ, Marina; NIKOLIĆ, Magdalena. Drivers for development of circular economy—A case study of Serbia. **Habitat International**, v. 56, p. 191-200, 2016.

INÁCIO, Caio. T.; MILLER, Paul. R. M. **Compostagem**: ciência e prática aplicadas a gestão de resíduos. Rio de Janeiro: Embrapa. p. 156, 2009.

INGHELDS, Dirk; DULLAERT, Wout. An analysis of household waste management policy using system dynamics modelling. **Waste management & research**, v. 29, n. 4, p. 351-370, 2010.

INGRAM, Helen; SCHNEIDER, Anne L. Policy Analysis for democracy. *In*: MORAN, Michel; REIN, Martin; GOODIN, Robert E. The Oxford **Handbook of Public Policy**. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. 169-189.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos Diagnóstico dos Resíduos. **IPEA**, 2012a. Disponível em:

[http://www.Ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.Ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas, **IPEA**, 2012b. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917\\_relatorio\\_residuos\\_organicos.pdf](http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Avançada. **Pesquisa sobre pagamento de serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos urbanos**. Brasília: DIRUR/ IPEA, 2010.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Avançada. Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrossilvopastoris e a questão dos catadores. **IPEA**, 2012. Disponível em: [http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com\\_content&view=article&id=13917](http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=13917). Acesso em: 13 fev. 2019.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. Reflexões sobre a construção do conceito de tecnologia social. *In*: FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL (org.) **Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: FBB, 2004. p.117-134.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Caderno estatístico - município de Curitiba**. Curitiba: IPARDES, 2019.

JACOB, Cesar A. A reserva do possível: obrigação de previsão orçamentária e de aplicação de veba. *In*: GRINOVER, Ada P. WATANABE, Kazuo. **O controle jurisdicional de políticas públicas**. Rio de Janeiro: Forense, 2ª ed, 2013. p. 237-284.

JACOBI, Pedro R.; BESEN, Gina R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estud. av.**, São Paulo, v. 25, n. 71, abr. 2011.

JENSEN, Morten Bang; MØLLER, Jacob; SCHEUTZ, Charlotte. Comparison of the organic waste management systems in the Danish–German border region using life cycle assessment (LCA). **Waste Management**, v. 49, p. 491-504, 2016.

JUCÁ, José F. T. Prefácio. *In*: CASTILHOS JUNIOR (Coord). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003.

JUN, Han; XIANG, He. Development of circular economy is a fundamental way to achieve agriculture sustainable development in China. **Energy Procedia**, v. 5, p. 1530-1534, 2011.

KALMYKOVA, Yuliya; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonardo. Circular economy–From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 190-201, 2017.

KARAVEZYRIS, Vassilios; TIMPE, Klaus-Peter; MARZI, Ruth. Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. **Mathematics and Computers in simulation**, v. 60, n. 3, p. 149-158, 2002.

- KARLSSON, Christer (Ed.). **Researching operations management**. Abingdon: Routledge, 2010.
- KHALID, Azeem *et al.* The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste management**, v. 31, n. 8, p. 1737-1744, 2011.
- KIEHL, Edmar J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985.
- KINGDON, John. W. **Agendas, alternatives, and public policies**. New York: HarperCollins, 1995.
- KOLEKAR, Kirankumar. A.; HAZRA, Tumpa.; CHAKRABARTY, Saikat. N. A Review on Prediction of Municipal Solid Waste Generation Models. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 238-244, 2016.
- KOLLIKATHARA, Naushad; FENG, Huan; YU, Danlin. A system dynamic modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues. **Waste management**, v. 30, n. 11, p. 2194-2203, 2010.
- KORHONEN, Jouni *et al.* Circular economy as an essentially contested concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 175, p. 544-552, 2018.
- KRAFT, Michel E.; FURLONG, Scott R. **Public Policy: politics, analysis and alternatives**. 3ed. Washington: CQ Press, 2010.
- KREIMER, Pablo. **El científico también es um ser humano: la ciência bajo la lupa**. Buenos Aires: Siglo Veintiuno Editores, 2009.
- KRISTENSEN, Dan Kristian; KJELDSEN, Chris; THORSØE, Martin Hvarregaard. Enabling sustainable agro-food futures: exploring fault lines and synergies between the integrated territorial paradigm, rural eco-economy and circular economy. **Journal of Agricultural and Environmental Ethics**, v. 29, n. 5, p. 749-765, 2016.
- LACERDA, Rogério T. de O.; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.
- LASSWELL, Harold Dwight. **Politics: Who gets what, when, how**. New York: P. Smith, 1950.
- LEE, Myungyeol *et al.* Comparative performance and microbial diversity of hyperthermophilic and thermophilic co-digestion of kitchen garbage and excess sludge. **Bioresource technology**, v. 100, n. 2, p. 578-585, 2009.
- LEFEBVRE, Henri. **O direito à cidade**. São Paulo: Centauro, 2001.
- LEITÃO, Alexandra. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, p. 149-171, 2015.

- LI, Yongping. P. *et al.* ITCLP: An inexact two-stage chance-constrained program for planning waste management systems. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 49, n. 3, p. 284-307, 2007.
- LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36-51, 2016.
- LIM, Su Lin; LEE, Leong Hwee; WU, Ta Yeong. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2016.
- LIMA, Ana Beatriz Barbosa Vinci. **Pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio em sistema seqüencial constituído de ozonização em processo biológico aeróbio**. 2006. Dissertação ( Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- LIMA, Luciana L.; D'ASCENZI, Luciano. Implementação de políticas públicas. **Revista de Sociologia e Política**, v. 21, n. 48, p. 101-110, 2013.
- LIMA, Marcia Tait; DAGNINO, Renato Peixoto. Economia solidária e tecnologia social: utopias concretas e convergentes. **Otra Economía**, v. 7, n. 12, p. 3-13, 2013.
- LIMA, Naraiana Sá. **Estudo do tratamento mecânico-biológico de resíduos sólidos urbanos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) - Faculdade de Ciências, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.
- LIN, Chun-hsu. A model using home appliance ownership data to evaluate recycling policy performance. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 52, n. 11, p. 1322-1328, 2008.
- LIU, Gengyuan *et al.* Emergy-based dynamic mechanisms of urban development, resource consumption and environmental impacts. **Ecological Modelling**, v. 271, p. 90-102, 2014.
- LIU, Manqiang. *et al.* Organic amendments with reduced chemical fertilizer promote soil microbial development and nutrient availability in a subtropical paddy field: the influence of quantity, type and application time of organic amendments. **Applied Soil Ecology**, v. 42, n. 02, p. 166-175, 2009.
- LOBATO, Kelly C. D.; LIMA Josiane P. Caracterização e avaliação de processos de seleção de resíduos sólidos urbanos por meio da técnica de mapeamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, p. 347-356, 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_rtext&pid=S141341522010000400007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_rtext&pid=S141341522010000400007&lng=pt&nrm=iso). Acesso em: 12 ago. 2013.
- LOBO, Thereza. Avaliação de processos e impactos em programas sociais: algumas questões para reflexão. In: RICO, Elizabeth Melo (Org.). **Avaliação de políticas sociais: uma questão em debate**. São Paulo: Cortez, 1998. p. 75-84.

- LOHRI, Christian Riuji *et al.* Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low-and middle-income settings. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 16, n. 1, p. 81-130, 2017.
- LONG, Feng *et al.* Scenarios simulation on municipal plastic waste generation of different functional areas of Beijing. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 14, n. 3, p. 250-258, 2012.
- LOPEZ CEREDO, José A. Ciencia, tecnología y sociedad: el estado de la cuestión em Europa y Estados Unidos. **Revista Iberoamericana de Educación**, n.18, p. 41-68, 2000.
- LOVELOCK, James. **A Vingança de Gaia**. 1. ed. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.
- MARCHEZETTI, Ana L.; KAVISKI, Eloy; BRAGA, Maria C.B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 173-187, abr./jun, 2011.
- MARCHI, Cristina M. D. F. Novas perspectivas na gestão do saneamento: apresentação de um modelo de destinação final de resíduos sólidos urbanos. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 7, n.1, p. 91-105 abr. 2015.
- MARCONI, Marina de A. LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MARCUSE, Herbert. **A Ideologia da Sociedade Industrial**. O Homem unidimensional. Rio de Janeiro: Zahar, 1972.
- MASHAYEKHI, Ali N. Transition in the New York State solid waste system: a dynamic analysis. **System Dynamics Review**, v. 9, n. 1, p. 23-47, 1993.
- MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- MATA-ALVAREZ, Joan *et al.* A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 36, p. 412-427, 2014.
- MATOS, Daniel Anijar de. **Tomada de decisão em redes logísticas de reciclagem de materiais através da dinâmica de sistemas**. 2012. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2012.
- MATTOS, Júlio. C. P. **Poluição ambiental por resíduos sólidos em ecossistemas urbanos: estudo de caso do aterro controlado de Rio Branco - AC**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) - Departamento de Ciências da Natureza, Universidade Federal do Acre. Rio Branco, 2006.
- MEDINA, Martin. Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 31, n. 1, p. 51-69, 2000.

- MELO, Lucas A. de.; SAUTTER, Klaus D.; JANISSEK, Paulo R. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v.14 n.4, p. 551-558, 2009.
- MESQUIRA JÚNIOR, José M. **Gestão integrada de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2007.
- MILANEZ, Bruno *et al.* Avaliação integrada da gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: uma proposta de metodologia. **Revista de Geografia**, v. 2, n. 2, p. 1-11, 2013.
- MOH, Yiing C.; MANAF, Latifah A. Overview of household solid waste recycling policy status and challenges in Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 82, p. 50-61, 2014.
- MONTEIRO, José H. P. *et al.* **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2012.
- MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.
- NAGASHIMA, Lucila. A. *et al.* Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos—uma proposta para o município de Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v.33, n.1, p. 39-47, 2011.
- NASEER, Mirza M.; MAHMOOD, Khalid. Use of bibliometrics in LIS research. **LIBRES: Library and Information Science Research Electronic Journal**, v. 19, n. 2, p. 1-11, 2009.
- NAUSTDALSLID, J., 2014. Circular economy in China e the environmental dimension of the harmonious society. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 4, p. 303-313, 2014.
- NIERO, Monia; OLSEN, Stig Irving. Circular economy: to be or not to be in a closed product loop? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 114, p. 18-31, 2016.
- NOVAES, Henrique T.; DAGNINO, Renato. O fetiche da tecnologia. **Revista ORG & DEMO**, v. 5, n. 2, p. 189-210, 2004.
- NOVAES, Henrique T.; DIAS, Rafael de B. Construção do marco analítico-conceitual da Tecnologia Social. *In*: DAGNINO, Renato (Org.). **Tecnologia Social: ferramenta para construir uma outra sociedade**. Campinas: Komedi, 2010. p. 113-154.
- NUNESMAIA, Maria de F. A Gestão de Resíduos Urbanos e Suas Limitações. **TECBAHIA Revista Baiana de Tecnologia**, Camaçari, v.17, n.1, p.120-129, jan./abr. 2002.
- OLIVEIRA, Andrea L. R.; FAGUNDES, Priscilla R. S. **O papel da logística na cadeia de produção de hortifrúteis**. São Paulo: IEA, 2005.

OLIVEIRA, José A. P. de. Desafios do planejamento em políticas públicas: diferentes visões e práticas. **RAP** Rio de Janeiro 40(1): 273-88, mar./ abr. 2006.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. OECD, 2008. **Environmental Outlook to 2030**. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/40200582.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2013.

OTHMAN, Siti N. *et al.* Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 251-262, 2012.

OTLET, Paul. O livro e a medida: bibliometria. *In*: DA FONSECA, Edson Nery. **Bibliometria: teoria e prática**. São Paulo: Editora Cultrix, 1986. p. 19-34.

PARADA, Eugenio L. Política y política públicas. *In*: SARAIVA, Enrique; FERRAREZI, Elisabete. **Políticas públicas**: coletânea volume I. Brasília: ENAP, 2006.

PARANÁ. Secretaria do desenvolvimento urbano: coordenação da região metropolitana de Curitiba. Municípios da RMC. Disponível em: < <http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=89> >. Acesso em 11 jul. 2013.

PATRICIO NETTO, Bernardo; RISSETE, Cezar; PUPPI E SILVA, Heloisa; FARAH JUNIOR, Moises Francisco. Instrumentos de gestão pública. *In*: Christian Luiz da Silva; José Edmilson de Souza Lima. (Org.). **Políticas públicas e indicadores para o desenvolvimento sustentável**. 1ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2010, p. 69-92.

PEINEMANN, Jan C.; PLEISSNER, Daniel. Material Utilization of Organic Residues. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 184, n. 2, p. 733-745, 2018.

PEREIRA, Cláudia D., FRANCO Davide, CASTILHOS JUNIOR Armando B. Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 27, p. 71-84, mar. 2013.

PEREIRA, Cláudia D.; FRANCO, Davide; CASTILHOS JR, Armando C. Implantação de Estação de Transferência de Resíduos Sólidos Urbanos utilizando Tecnologia SIG. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 27. p. 71-84, mar. 2013.

PÉREZ, Gerardo B. Riesgo de contaminación por disposición final de residuos. Un estudio de la región Centro Occidente de México. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 28, p. 97-105, 2012.

PERGOLA, Maria *et al.* Composting: The way for a sustainable agriculture. **Applied Soil Ecology**, v. 123, p. 744-750, 2018.

PINCH, Trevor J.; BIJKER, Wiebe E. The social construction of facts and artefacts: Or how the sociology of science and the sociology of technology might benefit each other. **Social studies of science**, v. 14, n. 3, p. 399-441, 1984.

PINTO, Álvaro V. **O Conceito de Tecnologia**, Volume 1. Rio de Janeiro: Contraponto, 2013.

PIRES, Ana; MARTINHO, Graça; CHANG, Ni-Bin. Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 4, p. 1033-1050, 2011.

POLAZ, Carla N. M.; TEIXEIRA, Bernardo A. do N. Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 14, n. 3, p. 411-420, jul./set. 2009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S141341522009000300015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141341522009000300015&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 12 ago. 2013.

PUNA, Jaime F. B.; BAPTISTA, Bráulio dos S. A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos - perspectiva ambiental e econômicoenergética. **Quim. Nova**, Águas de Lindóia, v. 31, n. 3, p. 645-654, 2008.

QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van. **Manual de investigação em ciências sociais**. 5. ed. Lisboa: Gradiva, 2008.

ROCHA, Viviane G.; D'ÁVILA, João S.; DE SOUZA, Roberto R. A importância da gestão dos resíduos sólidos na relação homem – natureza. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 1, n.3, p. 85-95, set-dez. 2005. Disponível em: <http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/63/57>. Acesso em: 11 jun. 2012.

ROTH, Caroline das G; GARCIAS, Carlos M. A Influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. **Redes**, Santa Cruz do Sul, v. 13, n. 3, p. 5-13, 2009.

RUTHES, Sidarta; SILVA, Christian Luiz da. O uso de estudos prospectivos na análise de políticas públicas: uma análise bibliométrica. *In: CONGRESSO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTÃO DA TECNOLOGIA*. 2015. p. 1-19.

SAGAN, Carl. **Pale blue dot: a vision of the human future in space**. New York: Ballantine Books, 1997.

SAKAI, Shin-ichi *et al.* International comparative study of 3R and waste management policy developments. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 13, n. 2, p. 86-102, 2011.

SANTIAGO, Leila Santos; DIAS, Sandra Maria Furiam. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 203-212, 2012.

SANTOYO, Alain H. **Bases teórico metodológicas para la valoración económica de bienes y servicios ambientales con base en técnicas de decisión multicriterio**. Estudio de caso: Parque Nacional Viñales, Pinar del Río, República de Cuba. 2012. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas). Departamento de Análisis Económico Aplicado. Universidad de Alicante, Aliante. 2012.

SARAVIA, Enrique; FERRAREZI, Elisabete. **Políticas públicas**. Coletâneas. Volumes, v. I, Brasília: ENAP, 2006.



SCHALCH Valdir; MASSUKADO Luciana M.; BIANCO Carolina I. Compostagem. *In* **Recurso solo** : propriedades e usos / NUNES Ramon R; REZENDE Maria O. O. (org). – 1.ed. São Carlos: Editora Cubo, 2015. p. 633-659.

SCHALCH, Valdir *et al.* **Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. São Carlos: USP, 2002. Disponível em: [http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao\\_de\\_Residuos\\_Solidos\\_PGTGA/Apostila\\_Gestao\\_e\\_Gerenciamento\\_de\\_RS\\_Schalch\\_et\\_al.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/Gestao_de_Residuos_Solidos_PGTGA/Apostila_Gestao_e_Gerenciamento_de_RS_Schalch_et_al.pdf). Acesso em: 10 jun. 2013.

SECONDI, Luca; PRINCIPATO, Ludovica; LAURETI, Tiziana. Household food waste behaviour in EU-27 countries: A multilevel analysis. **Food Policy**, v. 56, p. 25-40, 2015.

SENG, Bunrith *et al.* Scenario analysis of the benefit of municipal organic-waste composting over landfill, Cambodia. **Journal of environmental management**, v. 114, p. 216-224, 2013.

SENGE, Peter M. **A quinta disciplina: arte e prática da organização que aprende**. 31 ed. Rio de Janeiro: Best Seller, 2016.

SILVA, Christian L. da; BASSI, Nádia S.S. Políticas públicas e desenvolvimento local. *In*: SILVA, Christian L. da. (Org). **Políticas públicas e desenvolvimento local: instrumentos e proposições de análise para o Brasil**. Petrópolis: Vozes, 2012. p. 15-38.

SILVA, Christian L. da; FUGII, Gabriel M.; SANTOYO, Alain H. Proposta de um modelo de avaliação das ações do poder público municipal frente às políticas de gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil: um estudo aplicado ao município de Curitiba. **URBE, Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 276-292, mai./ago. 2017.

SILVA, Christian L. da. **Avaliação da política municipal da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Curitiba**. Curitiba: Ed. do autor, 2016.

SILVA, Christian. L. da. *et al.* O que é relevante para planejar e gerir resíduos sólidos? Uma proposta de definição de variáveis para a formulação e avaliação de políticas públicas. **Biblio 3w: revista bibliográfica de geografia y ciencias sociales**, v. 20, n. 1114, p. 1-25, 2015.

SIMONETTO, Eugênio de O. Simulation computer to evaluate scenarios of solid waste—an approach using systems dynamics. **International Journal of Environment and Sustainable Development** 8, v. 13, n. 4, p. 339-353, 2014.

SIMONETTO, Eugênio de O.; LÖBLERB, Mauri Leodir. Simulação baseada em System Dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos sólidos urbanos. **Production**, v. 24, n. 1, p. 212-224, 2014.

SIQUEIRA, Thais M. O. de; ABREU, Marcos J. de. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 4, p. 38-43, 2016.

SIQUEIRA, Thais M. O. de; ASSAD, Maria L. R. C. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 243-264, 2015.

SISINNO, Cristina Lúcia Silveira; RIZZO, A. C. L.; SANTOS, RLC dos. **Ecoeficiência aplicada à redução da geração de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2011.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Consulta de indicadores de resíduos sólidos urbanos. **SNIS**, 2010. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/web/guest/consulta-de-indicadores>. Acesso em: 13 jun. 2013.

SOLTANI, Atousa *et al.* Multiple stakeholders in multi-criteria decision-making in the context of municipal solid waste management: a review. **Waste Management**, v. 35, p. 318-328, 2015.

SOUSA, Rafael da S. M.; GAIA, Daniel de S.; RANGEL, Lucas dos S. Geração de energia através do lixo. **Bolsista de Valor**: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e Instituto Federal Fluminense, v. 1, n.1, p. 377-381, 2010. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1849/1027>. Acesso em: 17 jun. 2012.

SOUZA, Andréa de. **Proposta de uma matriz de decisão em energia hidrelétrica com o uso do método multicritério, para formulação de políticas públicas no estado do Paraná**. 2016. Tese (Doutorado em Tecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

SOUZA, Celina. Políticas Públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**. n° 16, p. 20-45, jul/set. 2006.

STERMAN, John D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

STRETTON-MAYCOCK, Dawn; MERRINGTON, Graham. The use and application to land of MBT compost-like output-review of current European practice in relation to environmental protection. **Environment Agency**, 2009. Disponível em: [https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/291682/scho0109bpfn-e.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/291682/scho0109bpfn-e.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

SU, Biwei *et al.* A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

SU, Jing *et al.* An inexact multi-objective dynamic model and its application in China for the management of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 28, n. 12, p. 2532-2541, 2008.

SUDHIR, Varadarajan.; SRINIVASAN, G.; MURALEEDHARAN, Vangal. R. Planning for sustainable solid waste management in urban India. **System Dynamics Review**, v. 13, n. 3, p. 223-246, 1997.

SUFIAN, Mohammad. A.; BALA, Bilash. K. Modeling of urban solid waste management system: the case of Dhaka city. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 858-868, 2005.

SUKHOLTHAMAN, Pitchayanin; SHARP, Alice. A system dynamics model to evaluate effects of source separation of municipal solid waste management: A case of Bangkok, Thailand. **Waste Management**, v. 52, p. 50-61, 2016.

SUZUKI, Juliana A. N.; GOMES, João. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 155-158, Jun. 2009.

TABAK, Fanny. Introdução. *In: Dependência Tecnológica e Desenvolvimento Nacional*. TABAK, Fanny (Org.). Rio de Janeiro: Pallas, 1975. p. 1-14.

TCHOBANOGLIOUS, George *et al.* **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. New York: McGraw-Hill, 1993.

TCHOBANOGLIOUS, George.; KREITH, Frank. **Handbook of solid waste management**. 2ª ed., New York: McGraw Hill, 2002.

TCHOBANOGLIOUS, George.; KREITH, Frank.; WILLIAMS, Marcia E. Introduction. *In: TCHOBANOGLIOUS, George; KREITH, Frank. Handbook of solid waste management*. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2002. p. 1.1-1.27.

TEIXEIRA, Elenaldo C. O papel das políticas públicas no desenvolvimento local e na transformação da realidade. **Salvador: AATR**, 2002.

THOMAS, Bernie; MCDUGALL, Forbes. International expert group on life cycle assessment for integrated waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 3, p. 321-326, 2005.

TIRADO-SOTO, Magda Martina; ZAMBERLAN, Fabio Luiz. Networks of recyclable material waste-picker's cooperatives: An alternative for the solid waste management in the city of Rio de Janeiro. **Waste management**, v. 33, n. 4, p. 1004-1012, 2013.

TISSERANT, Alexandre *et al.* Solid waste and the circular economy: A global analysis of waste treatment and waste footprints. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 628-640, 2017.

Perspective: a Rationale for a System Dynamics Approach. **Journal of Urban Health**, v. 92, n. 3, p. 490-501, 2015.

TOZAN, Yesim; OMPAD, Danielle C. Complexity and Dynamism from an Urban Health Perspective: a Rationale for a System Dynamics Approach. **Journal of Urban Health**, v. 92, n. 3, p. 490-501, 2015.

TREVISAN, Andrei P. BELLEN, Hans M. Avaliação de políticas públicas: uma revisão teórica de um campo em construção. **Revista de Administração Pública**. v. 42, n. 3, p. 529-550, 2008.

TSOLAKIS, Naoum; ANTHOPOULOS, Leonidas. Eco-cities: An integrated system dynamics framework and a concise research taxonomy. **Sustainable Cities and Society**, v. 17, p. 1-14, 2015.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Developing Integrated Solid Waste Management Plan Training Manual. UNEP, 2009. Disponível em: [http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/ISWMPlan\\_Vol1.pdf](http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/spc/ISWMPlan_Vol1.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Solid Waste Management: A Local Challenge With Global Impacts. US EPA, 2002. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/10000KWD.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000005%5C10000KWD.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>. Acesso em: 14 fev. 2019.

VACCAREZZA, Leonardo Silvio. Ciência, tecnologia e sociedade: o estado da arte na América Latina. In: SANTOS Lucy W. *et al.* **Ciência, tecnologia e sociedade: o desafio da interação**. Londrina: IAPAR, 2004. p. 43-77.

VARSAVSKY, Oscar. **Ciencia, política y científicismo**. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina, 1969.

VARSAVSKY, Oscar. **Por uma Política Científica Nacional**. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1976.

VÁZQUEZ, M. A.; SOTO, M. The efficiency of home composting programmes and compost quality. **Waste Management**, v. 64, p. 39-50, 2017.

VERGARA, Sintana E.; TCHOBANOGLIOUS, George. Municipal solid waste and the environment: a global perspective. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 37, p. 277-309, 2012.

VILLELA, Paulo RC. Introdução à dinâmica de sistemas. **Universidade Federal de Juiz de Fora**, 2005. Disponível em: [http://www.ufjf.br/ciro\\_barbosa/files/2011/02/ds\\_parte1.pdf](http://www.ufjf.br/ciro_barbosa/files/2011/02/ds_parte1.pdf). Acesso em: 14 fev. 2019.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **Teoria geral dos sistemas**. 8 ed. Petrópolis: Vozes, 2015.

WILSON, David C.; VELIS, Costas; CHEESEMAN, Chris. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. **Habitat international**, v. 30, n. 4, p. 797-808, 2006.

WILSON, David *et al.* **Strategic planning guide for municipal solid waste management**. Washington: World Bank, 2001.

WITJES, Sjors; LOZANO, Rodrigo. Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 112, p. 37-44, 2016.

XU, Jiuping; LI, Xiaofei; WU, Desheng Dash. Optimizing circular economy planning and risk analysis using system dynamics. **Human and Ecological Risk Assessment**, v. 15, n. 2, p. 316-331, 2009.

YONG, Ren. The circular economy in China. **Journal of material cycles and waste management**, v. 9, n. 2, p. 121-129, 2007.

YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The circular economy: A new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

ZAMAN, Atiq Uz; LEHMANN, Steffen. Development of demand forecasting tool for natural resources recouping from municipal solid waste. **Waste Management & Research**, v. 31, n. 10, p. 17-25, 2013.

ZAMBON, Matheus Moraes. **Alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos urbanos: um estudo de caso na cidade de Florianópolis**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

ZANTA, Viviana M.; FERREIRA, Cynthia F. A. Gerenciamento integrado de resíduos sólidos. *In*: CASTILHOS JUNIOR (Coord). **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES/RiMa, 2003. p. 1-18.

ZHIJUN, Feng; NAILING, Yan. Putting a circular economy into practice in China. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 95-101, 2007.

ZURBRÜGG, Christian. Urban Solid Waste Management in Low-Income Countries of Asia How to Cope with the Garbage Crisis. **Urban Solid Waste Management Review Session**, 1-13 p., 2003.

**ANEXO – EQUAÇÕES BASE EXTRAÍDOS DO PROGRAMA *VENSIM®SOFTWARE***

- (01) Aproveitamento resíduo úmido=Taxa de aproveitamento resíduo úmido\*Tratamento Úmido  
Units: toneladas
- (02) Aproveitamento resíduo seco=Taxa de aproveitamento resíduo seco\*Tratamento Seco  
Units: toneladas
- (03) Aterro= INTEG (Rejeito seco+Rejeito úmido+Rejeitos,0)  
Units: toneladas
- (04) Coleta resíduo seco=Taxa coleta resíduo seco\*Total de Resíduos Gerados  
Units: toneladas
- (05) Coleta resíduo úmido=Taxa resíduo úmido\*Total de Resíduos Gerados  
Units: toneladas
- (06) Crescimento populacional=População\*Taxa de crescimento  
Units: habitantes
- (07) Custo coleta rejeitos=Custo coleta tonelada\*Rejeitos  
Units: Reais/toneladas
- (08) Custo coleta resíduo seco=Coleta resíduo seco\*Custo coleta tonelada  
Units: Reais/toneladas
- (09) Custo coleta resíduo úmido=Coleta resíduo úmido\*Custo coleta tonelada  
Units: Reais
- (10) Custo coleta tonelada=177.97  
Units: Reais/toneladas
- (11) Custo por tonelada=72.89  
Units: reais
- (12) Custo total=Custo total aterro+Custo total coleta  
Units: Reais
- (13) Custo total aterro=Aterro\*Custo por tonelada  
Units: Reais/ tonelada
- (14) Custo total coleta=  
Custo coleta resíduo seco+Custo coleta resíduo úmido+Custo coleta rejeitos  
Units: Reais
- (15) FINAL TIME = 2045  
Units: Year

- The final time for the simulation.
- (16)  $\text{Geração} = \text{População} * \text{Taxa geração}$   
Units: toneladas/ano
- (17) INITIAL TIME = 0  
Units: Year  
The initial time for the simulation.
- (18)  $\text{População} = \text{INTEG} (+\text{Crescimento populacional}, 1.91718e+06)$   
Units: habitantes
- (19)  $\text{Rejeito seco} = \text{Taxa rejeito seco} * \text{Tratamento Seco}$   
Units: toneladas
- (20)  $\text{Rejeito úmido} = \text{Taxa rejeito úmido} * \text{Tratamento Úmido}$   
Units: toneladas
- (21)  $\text{Rejeitos} = \text{Taxa rejeitos} * \text{Total de Resíduos Gerados}$   
Units: toneladas
- (22) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Year [2018,2045]
- (23)  $\text{Taxa coleta resíduos secos} = 0.05$   
Units: Dmnl
- (24)  $\text{Taxa de aproveitamento resíduo seco} = 0.55$   
Units: Dmnl
- (25)  $\text{Taxa de aproveitamento resíduo úmido} = 0$   
Units: Dmnl
- (26)  $\text{Taxa de crescimento} = 0.01$   
Units: Dmnl
- (27)  $\text{Taxa de tratamento doméstico} = 0$   
Units: Dmnl
- (28)  $\text{Taxa geração} = 0.292$   
Units: toneladas/ano
- (29)  $\text{Taxa rejeito seco} = 0$   
Units: Dmnl
- (30)  $\text{Taxa rejeito úmido} = 0$   
Units: Dmnl
- (31)  $\text{Taxa rejeitos} = 0.95$

Units: Dmnl

(32) Taxa resíduos úmidos=0

Units: Dmnl

(33) TIME STEP = 1

Units: Year [0,27]

The time step for the simulation.

(34) Total de Resíduos Gerados= INTEG (Geração-Coleta resíduos secos-Coleta resíduos úmidos-Rejeitos-Tratamento Doméstico,0)

Units: toneladas

(35) Tratamento Doméstico=Taxa de tratamento doméstico\*Total de Resíduos Gerados

Units: toneladas

(36) Tratamento Seco= INTEG (Coleta resíduos secos-Aproveitamento resíduos seco-Rejeito seco,0)

Units: toneladas

(37) Tratamento Úmido= INTEG (Coleta resíduos úmidos-Aproveitamento resíduo úmido-Rejeito úmido,0)

Units: toneladas