



**COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DA CETESB**



CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS

Erica Marie Tachibana

**GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS
CLIMÁTICAS**

Estudo de Caso do Município de São Bernardo do Campo/SP

**São Paulo
2019**



Erica Marie Tachibana

GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Estudo de Caso do Município de São Bernardo do Campo/SP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, da Instituição Escola Superior da CETESB, como requisito para obtenção de título de especialista em conformidade ambiental

Orientador: Prof. Dr. Flávio de Miranda Ribeiro

São Paulo
2019

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

(CETESB, Biblioteca, SP, Brasil)

T122g	Tachibana, Erica Marie Gerenciamento dos resíduos sólidos e mudanças climáticas: estudo de caso do município de São Bernardo do Campo/SP / Erica Marie Tachibana. – São Paulo, 2019. 78 p.; 30 cm. Orientador: Prof. Dr. Flávio de Miranda Ribeiro. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Conformidade Ambiental) – Pós-Graduação Lato Sensu Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais, Escola Superior da CETESB, São Paulo, 2019. Disponível também em: < http://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/producaotecnico-cientifica/ >. 1. Efeito estufa - gases 2. Resíduos sólidos urbanos – destinação final 3. Resíduos sólidos urbanos – gestão 4. São Bernardo do Campo (SP) I. Ribeiro, Flávio de Miranda, Orient. II. Escola Superior da CETESB (ESC). III. Título.
CDD (21. ed. Esp.)	363.728 57 816 1 577.276 816 1
CDU (2. ed. Port.)	628.47:504.7 (815.6)

Catalogação na fonte: Margot Terada – CRB 8.4422

Direitos reservados de distribuição e comercialização.
Permitida a reprodução parcial desde que citada a fonte.

© CETESB.

Av. Prof. Frederico Hermann Jr., 345

Pinheiros – SP – Brasil – CEP 05459900

Site: <<http://escolasuperior.cetesb.sp.gov.br/producao-tecnicocientifica/>>



CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO
CONFORMIDADE AMBIENTAL COM REQUISITOS TÉCNICOS E LEGAIS



AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno(a):	Érica Marie Tachibana	
Título do trabalho:	GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS - Estudo de caso do Município de São Bernardo do Campo/SP	Turma: 2017

Avaliadores	Nota	Assinatura
Avaliador 1 Nome: Fernando Rei	9,5	
Avaliador 2 Nome: Josilene Ticianelli Vannuzini Ferrer	9,5	
Orientador Nome: Flávio de Miranda Ribeiro	9,5	
Nota final	9,5	
Aprovado em São Paulo, 22 de novembro de 2019		

Ciência do aluno(a):	Assinatura
----------------------	----------------

A aprovação do Trabalho de Conclusão de Curso não significa aprovação, endosso ou recomendação, por parte da CETESB, de produtos, serviços, processos, metodologias, técnicas, tecnologias, empresas, profissionais, ideias ou conceitos mencionados no trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados da estimativa de emissões de gases de efeito estufa gerados no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, tendo como estudo de caso o município de São Bernardo do Campo, localizado no estado de São Paulo, Brasil. Foram avaliados os modelos de gerenciamento dos resíduos atual e futuro do município, sendo que o cenário atual é a disposição dos resíduos em aterros sanitários e o cenário futuro contempla uma combinação das seguintes destinações: reciclagem do material não separado na origem, biodigestão e compostagem da parcela orgânica, incineração dos rejeitos secos e disposição de demais rejeitos em aterros sanitários.

As emissões de gases de efeito estufa do gerenciamento dos resíduos sólidos foram segregadas nas seguintes etapas: coleta, transporte e destinação final dos resíduos. O levantamento das emissões por etapa tem a finalidade de identificar as etapas com emissões mais expressivas, como auxílio ao planejamento e gestão dos resíduos. Também foi avaliado o impacto das alternativas locais da unidade de tratamento de resíduos para as emissões de gases de efeito estufa.

O modelo futuro de gerenciamento dos resíduos no município de São Bernardo do Campo, que conta com uma combinação de destinações para as diferentes frações dos resíduos, apresenta uma emissão de 522 kgCO₂e/tonelada de resíduo. Em comparação com o atual modelo aplicado no município, de 1.356 kgCO₂e/tonelada de resíduo, representa uma redução de 62% nas emissões de gases de efeito estufa. Este resultado demonstra que o melhor aproveitamento do resíduo, preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, intrinsecamente contribui para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

A etapa que mais contribui com as emissões de gases de efeito estufa é a da destinação do resíduo, representando 99,4% (1.348 kg CO₂e/tonelada de resíduo) das emissões do modelo atual de gerenciamento dos resíduos e 98,1% (511 kg CO₂e/tonelada de resíduo) das emissões do modelo futuro.

A avaliação das alternativas locais da unidade de tratamento dos resíduos sólidos mostra que a sensibilidade à variação das distâncias percorridas para a destinação dos resíduos não é representativa para as emissões de gases de efeito estufa a nível de tomada de decisão para o escopo avaliado neste estudo.

Desta forma, esforços para a redução das emissões de gases de efeito estufa no gerenciamento dos resíduos sólidos devem ser concentrados, a princípio, na etapa de destinação dos resíduos para obter resultados mais efetivos no combate às mudanças climáticas.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Gases de Efeito Estufa. Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. São Bernardo do Campo. Emissões. Destinação final dos resíduos.

ABSTRACT

This study presents the results for the estimated greenhouse gases emissions of the municipal solid waste management, taking as a study case the municipality of Sao Bernardo do Campo, located at Sao Paulo State, in Brazil. The current and future models of solid waste management were evaluated. The current scenario is the waste disposal in landfills. The future scenario includes a combination of disposal practices: no source separation recycling, digestion and composting of the organic waste, incineration and waste disposal in landfills.

Greenhouse gas emissions from the municipal solid waste management were divided in the following stages: waste collection, transport and disposal. The staged presentation aims to identify the main emission stages, in order to support decision making for waste planning and management. Impacts of waste disposal facility location alternatives on greenhouse gas emissions was also assessed.

Sao Bernardo do Campo future waste management model, that is composed by a combination of destinations for each waste fraction, presents an emission of 522 kgCO_{2e}/ton of waste. In comparison to the current management model applied by the municipality, of 1.356 kgCO_{2e}/ton of waste, presents a reduction of 62% in greenhouse gas emissions. This shows that a better use of waste, as recommended by the National Solid Waste Policy, intrinsically contributes to the mitigation of the greenhouse gas emissions.

The stage that contributes most to greenhouse gas emissions is the waste disposal, representing 99.4% of emissions from the current waste management model and 98.1% of emissions from the future model.

The evaluation of locational alternatives for the solid waste facility shows a low sensitivity to variation of the travelled distance to the disposal facility, which means that it is not representative for greenhouse gas decision-making for the evaluated scope in this study.

Summarizing, efforts to reduce greenhouse gas emissions in the management of solid waste should initially be concentrated on the waste disposal practices to achieve more effective results to tackle climate change.

Key Words: Municipal Solid Waste. Greenhouse Gases. Municipal Solid Waste Management. Sao Bernardo do Campo. Emissions. Waste Final Disposal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. – Classificação dos resíduos sólidos em relação à origem	19
Figura 3.2. – Classificação dos resíduos sólidos em relação à periculosidade	19
Figura 3.3. – Fluxo dos resíduos sólidos	21
Figura 3.4. – Emissões de GEE no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos ...	25
Figura 3.5. – Emissões nacionais de GEE para o ano de 2015	25
Figura 4.1. – Resíduos sólidos considerados no estudo, classificados em relação à origem	27
Figura 4.2. – Fluxo dos resíduos sólidos	29
Figura 5.1. – Localização dos pontos de interesse	47
Figura 5.2. – Fluxograma das etapas do gerenciamento atual.....	48
Figura 5.3. – RMSP e áreas potenciais para a instalação de um futuro aterro sanitário	50
Figura 5.4. – Fluxograma das etapas do gerenciamento futuro	51
Figura 5.5. – Identificação da área de atuação do consórcio e localização da unidade de transbordo	53
Figura 5.6. – Diagrama do atual fluxo de destinação dos resíduos.....	56
Figura 5.7. – Diagrama do futuro fluxo de destinação dos resíduos	57
Figura 7.1. – Alternativas locacionais das unidades de tratamento dos resíduos	66
Figura 7.2. – Impacto nas emissões de GEE com a variação da distância das unidades de disposição final dos resíduos	66

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. – Gases de Efeito Estufa	23
Quadro 5.1. – Serviços prestados no atual Sistema Integrado de Manejo e Gestão de Resíduos Sólidos do Município de São Bernardo do Campo	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. – Municípios no Estado de São Paulo com população entre 500 mil e 1 milhão de habitantes	28
Tabela 4.2. – Potenciais de Aquecimento Global.....	37
Tabela 4.3. – Dados dos combustíveis	38
Tabela 4.4. – Fatores de emissão em base energética.....	38
Tabela 4.5. – Conteúdo de carbono fóssil nos materiais.....	40
Tabela 4.6. – Conteúdo de carbono orgânico degradável nos materiais	42
Tabela 4.7. – Fatores de emissão adotados no estudo.....	44
Tabela 5.1. – Frequência dos serviços de coleta dos resíduos sólidos urbanos.....	46
Tabela 5.2. – Composição gravimétrica dos resíduos.....	51
Tabela 6.1. – Emissões de GEE estimadas – modelo atual.....	59
Tabela 6.2. – Emissões de GEE para 1 tonelada de RSU destinado em aterro	60
Tabela 6.3. – Emissões de GEE estimadas – modelo futuro	61
Tabela 6.4. – Emissões de GEE para 1 tonelada de RSU destinada.....	61
Tabela 6.5. – Comparativo das emissões de GEE das diferentes destinações dos resíduos	64

ABREVIATURAS E SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	Clorofluorcarbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2e}	Dióxido de carbono equivalente
FE	Fator de emissão
GEE	Gases de Efeito Estufa
HFC	Hidrofluorcarbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICLEI	Governos Locais pela Sustentabilidade
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)
N ₂ O	Óxido Nitroso
NF ₃	Trifluoreto de Nitrogênio
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PCI	Poder Calorífico Inferior
PERS	Plano Estadual de Resíduos Sólidos
PEV	Programas de coleta seletiva com pontos de entrega voluntária

PFC	Perfluorcarbono
PLANARES	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Programas de coleta seletiva porta a porta
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre
SIMA	Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente
SIN	Sistema Interligado Nacional
SPAR-URE	Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação de Energia
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	18
3.2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	22
3.3	RELAÇÃO ENTRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	24
4	METODOLOGIA	27
4.1	SELEÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	27
4.2	ESTUDO DE CASO	28
4.3	FRONTEIRAS DE CONTABILIZAÇÃO	29
4.4	CÁLCULO DAS EMISSÕES	31
4.4.1	Gases Inventariados	31
4.4.2	Energia	31
4.4.3	Destinação dos Resíduos	33
4.4.4	Totalização das Emissões de GEE	36
4.5	FATORES DE EMISSÃO	37
4.5.1	Energia	37
4.5.2	Destinação dos resíduos	39
4.5.3	Fatores Utilizados	43
5	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	45
5.1	O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO	45
5.1.1	Situação Atual	45
5.1.2	Situação Futura	48
5.2	PREMISSAS ADOTADAS	51
5.2.1	Composição Gravimétrica	51
5.2.2	Caminhões Compactadores	52

5.2.3 Caminhão Basculante	54
5.2.4 Fluxo de Destinação dos Resíduos	55
5.2.5 Operação das Unidades de Destinação dos Resíduos	57
6 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA	59
6.1 INTENSIDADE DE EMISSÃO	59
6.1.1 Cenário Atual	59
6.1.2 Cenário Futuro	61
6.2 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES ENTRE AS DIFERENTES DESTINAÇÕES	63
7 IMPACTO LOCACIONAL DAS UNIDADES DE TRATAMENTO PARA AS EMISSÕES DE GEE	65
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos sólidos vem sendo muito discutida e sua tratativa apresentou grandes avanços nas formas de disposição ambientalmente adequada. Essa preocupação com o tema dos resíduos sólidos se deve à forte relação com a saúde pública e a qualidade ambiental, além da questão de pertencimento da sociedade sobre esse tema por estar relacionado às condições essenciais para o bem-estar.

Nesta última década também houve a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que tem entre seus objetivos: a proteção da saúde pública e qualidade ambiental; a não geração, redução, reutilização, reciclagem e destinação final ambientalmente adequada; adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo; entre outros.

Os resíduos também têm relação com outra questão ambiental, as mudanças climáticas. A destinação dada aos resíduos contribui para as emissões de gases de efeito estufa. No Brasil, estima-se que para o ano de 2015 cerca de 31,5 milhões de tCO₂e emitidas foram provenientes da destinação dada aos resíduos sólidos urbanos. Isto representa aproximadamente 2,5% das emissões nacionais (BRASIL, 2017).

A aparente baixa representatividade no cenário nacional (2,5%) está relacionada a um saneamento básico ainda deficiente, sendo que melhores condições sanitárias (cobertura do serviço de coleta dos resíduos e disposição desses resíduos em aterros sanitários) no país provavelmente resultariam em uma maior contribuição desse setor nas emissões de gases de efeito estufa. Como é o caso do Estado de São Paulo, cujos índices de saneamento básico são mais elevados que os índices nacionais, a contribuição da destinação dos resíduos sólidos urbanos foi de 7,6 mil toneladas de dióxido de carbono equivalente em 2008, o que representa cerca de 7,8% das emissões do Estado (CETESB, 2013).

Desta forma, as emissões do setor de resíduos apresentam grande potencial de serem reduzidas ou não geradas em um espaço de tempo mais curto em relação aos demais setores, sendo uma das várias opções para o enfrentamento das mudanças climáticas.

Entretanto, poucos estudos sobre as emissões de GEE dos resíduos abrangem a cadeia completa de seu gerenciamento, prática esta muito utilizada pelo setor privado para contabilizar e gerenciar suas emissões.

Desta forma, propõe-se no presente trabalho a análise das emissões de GEE incluindo as etapas anteriores a destinação dos resíduos, ou seja, quantificando as emissões de GEE geradas nas etapas de coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos, visando auxiliar a tomada de decisão no planejamento e gestão dos resíduos sólidos.

Cabe a ressalva de que esse estudo tem como foco as emissões de gases de efeito estufa do gerenciamento dos resíduos, não tendo sido avaliadas questões relacionadas às emissões dos poluentes atmosféricos como monóxido de carbono, material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, dioxinas, entre outros. Não sendo âmbito as demais questões socioambientais, como inclusão social dos catadores, educação ambiental, saúde pública, áreas contaminadas, etc. que também tem sua relevância para a temática dos resíduos sólidos.

2 OBJETIVOS

Tem-se como objetivo geral desta monografia estudar a contribuição do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e de sua gestão frente às mudanças climáticas, através da análise das emissões de gases de efeito estufa geradas em suas atividades, tomando-se como estudo de caso o município de São Bernardo do Campo, localizado no Estado de São Paulo.

Os objetivos específicos deste estudo são:

- 1- Identificar a atual destinação dada aos resíduos sólidos urbanos no município de São Bernardo do Campo/SP e cenário futuro de destinação propostos pelo município em seu Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.
- 2- Quantificar as emissões de gases de efeito estufa do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos nos dois cenários (atual e futuro) considerando as etapas de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos, de forma a avaliar a contribuição das emissões de cada uma dessas etapas no gerenciamento dos resíduos, identificando as etapas mais expressivas.
- 3- Avaliar os ganhos, em termos das emissões de gases de efeito estufa, relacionados a cenários de alternativas locais das unidades de destinação dos resíduos sólidos urbanos.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) ¹ e seu Decreto Regulamentador nº 7.404/2010 são demonstrativos do empenho e importância da gestão dos resíduos sólidos no âmbito federal, assim como na esfera do Estado de São Paulo com sua Política Estadual de Resíduos Sólidos, instituída anteriormente à PNRS e de semelhante conteúdo.

Os compromissos indicados nesses instrumentos legais trouxeram desafios e oportunidades relacionado aos resíduos sólidos visando a melhoria da saúde pública e da qualidade ambiental.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz a definição de resíduos sólidos como sendo:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, 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 técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.” (BRASIL, 2010, p.2, art. 3º, inciso XVI)

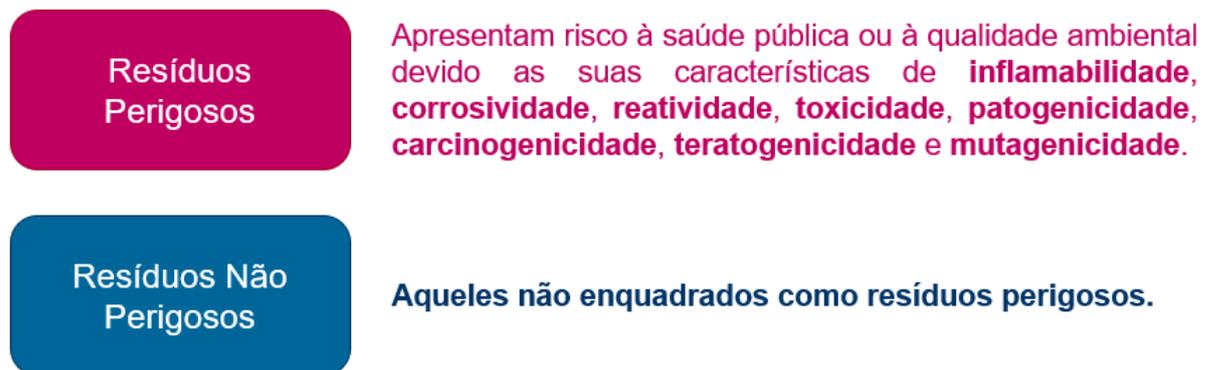
Ainda de acordo com a PNRS, os resíduos são classificados quanto a sua origem, conforme ilustrado na Figura 3.1; e quanto a sua periculosidade (resíduos perigosos e não perigosos), na Figura 3.2.

¹ Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base na PNRS.

Figura 3.1. – Classificação dos resíduos sólidos em relação à origem



Fonte: Elaboração própria (2019), com base na PNRS.

Figura 3.2. – Classificação dos resíduos sólidos em relação à periculosidade

A PNRS define ainda como um de seus instrumentos os planos de resíduos sólidos, a serem desenvolvidos nas esferas nacional, estaduais, microrregionais, intermunicipais, municipais e, também, em determinadas atividades econômicas.

Dentro da própria PNRS é prevista a atualização do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) a cada 4 anos, sendo um dos itens obrigatórios deste documento o diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos no Brasil. Isto reforça a importância da avaliação periódica para a constatação da evolução do gerenciamento

dos resíduos. Até o momento, o Planares não foi finalizado, sendo a publicação de 2012 uma versão preliminar para consulta pública (BRASIL, 2018).

Por esta política ser relativamente nova, ainda muitos municípios e estados estão se mobilizando para seu atendimento. Para o estado de São Paulo, verificou-se que este já elaborou seu Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) em 2014. Observa-se ainda que a Política Estadual dos Resíduos Sólidos de São Paulo (Lei Estadual nº 12.300/2006) precede à PNRS. Resultante dessas políticas, em 2012 foi instituído no estado de São Paulo o Programa de Implementação de Projetos de Resíduos Sólidos, o qual uma de suas ações consiste no apoio à gestão municipal de resíduos sólidos.

O Estado de São Paulo, através de sua Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA), disponibiliza publicamente os Planos Municipais de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos (PMGIRS) dos municípios paulistas. Tendo sido realizada a consulta e verificada a existência do PMGIRS de São Bernardo do Campo/SP, município selecionado para o estudo proposto neste documento, o que viabilizou a condução do estudo.

Os resíduos sólidos, através da PNRS, passaram a ser olhados nos quesitos de sustentabilidade, como o consumo consciente e o reaproveitamento e reciclagem dos resíduos, e, também, relacionados às mudanças climáticas, devido à proposta de aproveitamento energético, como do biogás gerados nos aterros sanitários, incineradores, entre outras formas.

Complementarmente a isso, estudos acadêmicos ainda demonstram a importância dos planos municipais como um dos processos na busca de estratégias para minimizar os impactos negativos dos resíduos sólidos nas esferas social e ambiental, como apresentado por Lopes (2003) no “Estudo da Gestão e do Gerenciamento Integrado dos Resíduos Sólidos Urbanos no Município de São Carlos (SP)”.

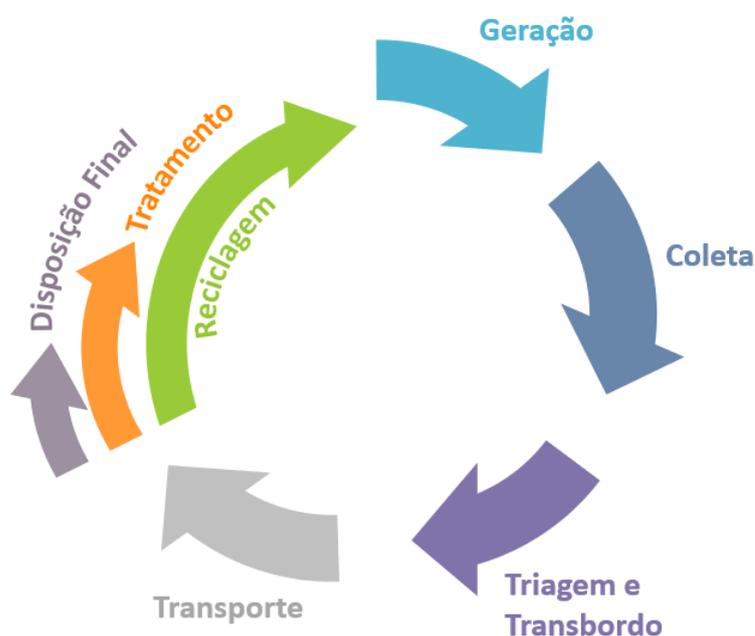
Ainda de acordo com a PNRS, há a diferenciação entre o gerenciamento e gestão dos resíduos sólidos. O gerenciamento dos resíduos sólidos é definido como:

“conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (...)” (BRASIL, 2010, p.2, art. 3º, inciso X)

A definição de gestão integrada de resíduos sólidos pela PNRS é:

“conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob premissa do desenvolvimento sustentável” (BRASIL, 2010, p.2, art. 3º, inciso XI)

Como o intuito desse estudo está relacionado à cadeia de gerenciamento dos resíduos no nível municipal, a Figura 3.3 ilustra um fluxo simplificado das etapas identificadas no ciclo dos resíduos sólidos.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base na PNRS

Figura 3.3. – Fluxo dos resíduos sólidos

Cabe destacar que, de acordo com a PNRS, a disposição final ambientalmente adequada é considerada para os rejeitos. A diferenciação entre rejeitos e resíduos também é dada pela PNRS, sendo os rejeitos definidos como:

“resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010, p.2, art. 3º, inciso XV)

Entretanto, atualmente, sabe-se que o gerenciamento dos resíduos ainda não alcançou o nível desejado pela PNRS, e que a prática comum ainda é a disposição

final de resíduos em aterros, sejam eles controlados ou sanitários, ou ainda em lixões. Portanto, no fluxo apresentado na Figura 3.3, a disposição final foi mapeada como uma das opções da etapa final dos resíduos.

Cabe observar ainda que a PNRS apresenta como um de seus objetivos a “não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”, devendo a gestão e gerenciamento dos resíduos adotar essa ordem de prioridade em suas ações (BRASIL, 2010).

3.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas são tidas como um dos desafios globais a serem enfrentados na atualidade (UNFCCC, 2017).

Sua definição é dada como sendo as alterações climáticas que possam ser atribuídas direta ou indiretamente à atividade antrópica resultantes de variação na composição da atmosfera terrestre, sendo acrescidas à variabilidade climática natural observada em longo períodos que se possa comparar, conforme apresentado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2011) e na Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC)².

Essa alteração na composição da atmosfera terrestre está relacionada com as emissões de gases provenientes das atividades humanas, que interferem na proporção de absorção da radiação solar, resultando no aumento do aquecimento global, o qual apresenta desdobramentos ainda relacionado às mudanças climáticas, como por exemplo, alteração no regime de chuvas, elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos, degelo, entre outras (IPCC, 2007).

² BRASIL, 2009. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.

Esses gases que possuem características de absorverem e emitirem a radiação infravermelha são naturalmente encontrados na atmosfera terrestre, porém as atividades humanas contribuem para a elevação dos níveis de concentração de determinadas substâncias. Essas substâncias são denominadas Gases de Efeito Estufa (GEE) e apresentam um Potencial de Aquecimento Global (PAG) (IPCC, 2007).

Os GEE são os regulados pela UNFCCC através do Protocolo de Quioto e são apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1. – Gases de Efeito Estufa

Fórmula Química	Substância	Atividade Antropogênica Relacionada
CO ₂	Dióxido de Carbono	Proveniente da queima de combustíveis de origem fóssil, biomassa e/ou manejo florestal, entre outros.
CH ₄	Metano	Gás gerado na decomposição da matéria orgânica e na queima de combustíveis.
N ₂ O	Óxido Nitroso	Proveniente da queima de combustíveis e como produto da atividade das bactérias no solo.
HFCs	Hidrofluorcarbonos	Gases substituintes aos CFCs (Clorofluorcarbonos) utilizados como fluidos refrigerantes
PFCs	Perfluorcarbonos	Gases artificiais criados como alternativa aos produtos químicos prejudiciais à camada de ozônio. São aplicados em refrigeração, solventes, propulsores, espumas e aerossóis.
SF ₆	Hexafluoreto de Enxofre	Gás utilizado como isolante elétrico nos sistemas de transmissão e distribuição de eletricidade, apresenta elevado potencial de aquecimento global.
NF ₃	Trifluoreto de Nitrogênio	Novo gás controlado pelo Protocolo de Quioto no segundo período de compromisso (2013-2020). Substância utilizada principalmente pela indústria eletrônica.

Fonte: Elaboração própria (2019), com base no UNFCCC (1998 e 2012) e IPCC (2007).

Uma das formas de enfrentamento às mudanças climáticas é a mitigação das emissões de GEE, ou seja, implantando medidas que auxiliem na redução das emissões desses gases (BRASIL, 2009).

O Acordo Climático de Paris, assinado durante a Conferência das Partes (COP)³ 21 realizada em novembro de 2015, buscava por líderes globais no enfrentamento das mudanças climáticas, estabelecendo metas globais de redução das emissões de GEE visando limitar o aquecimento global em 1,5°C, considerado ainda um limite seguro (UNFCCC,2017).

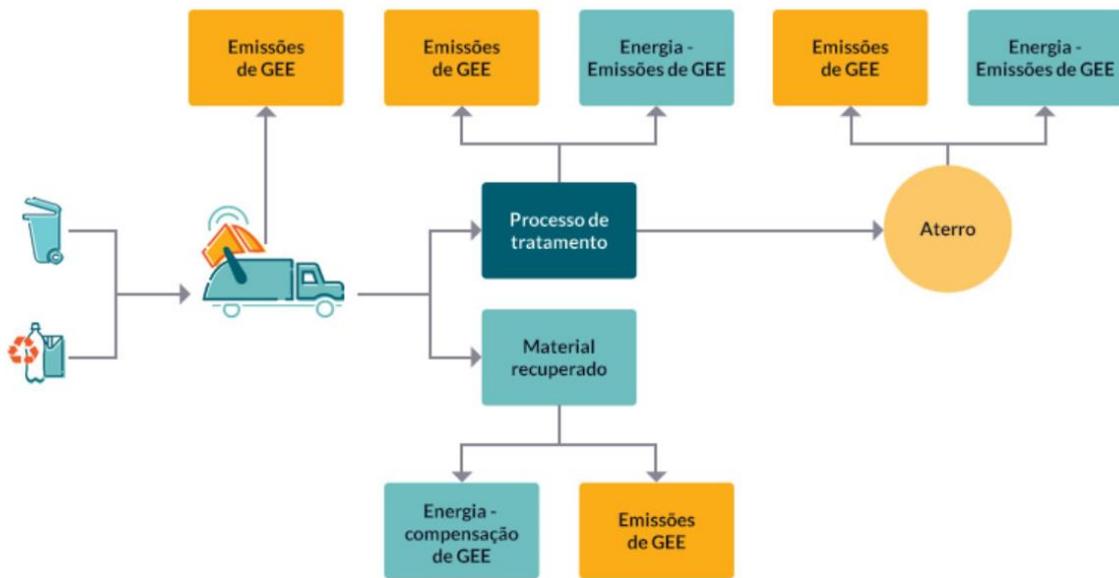
Na última conferência ocorrida em dezembro/2018, COP 24, os países signatários definiram diretrizes para implementação do Acordo de Paris, unindo forças e dividindo as responsabilidades para frear as emissões de GEE (UNFCCC, 2018).

3.3 RELAÇÃO ENTRE OS RESÍDUOS SÓLIDOS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Atualmente, cerca de 85% da população brasileira vive em áreas urbanas (IBGE, 2015). A aglomeração de pessoas em centros urbanos apresenta um potencial de geração e de gerenciamento dos resíduos, de forma a contribuir para as medidas mitigadoras para enfrentamento das mudanças climáticas.

As etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos geram emissões de GEE, seja por meio dos combustíveis fósseis utilizados para as atividades de coleta e transporte, como do tratamento dado aos resíduos, conforme ilustrado na Figura 3.4. Além disso, os resíduos sólidos por si já carregam uma contribuição atrelada à emissão de GEE da cadeia produtiva desse bem material que veio a se tornar um resíduo (BRASIL-ALEMANHA, 2017).

³ COP – Conference of the Parties



Fonte: Brasil-Alemanha (2017)

Figura 3.4. – Emissões de GEE no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos

As estimativas anuais de emissões e remoções antrópicas de GEE demonstram que o setor de resíduos representa cerca de 5% das emissões de GEE geradas anualmente no Brasil (1,4 bilhão tCO₂e em 2015), sendo que 2,5% são provenientes do tratamento dos resíduos sólidos urbanos. O perfil das emissões de GEE no Brasil por setor de contabilização é apresentado na Figura 3.5.



Fonte: Brasil (2015)

Figura 3.5. – Emissões nacionais de GEE para o ano de 2015

Esta baixa representatividade das emissões de GEE pela disposição dos resíduos sólidos no cenário nacional deve-se ao saneamento básico deficiente no país, em um cenário de melhores condições de saneamento (cobertura do serviço de coleta dos resíduos e disposição desses resíduos em aterros sanitários) resultariam em uma maior contribuição desse setor para as emissões de GEE. Como pode-se observar no Estado de São Paulo, onde as emissões da destinação dos resíduos sólidos urbanos foram de 7,6 mil toneladas de CO₂e no ano de 2009, representando cerca de 7,8% das emissões do Estado (CETESB, 2013).

Essas emissões, através de ações mitigadoras, apresentam grande potencial de serem reduzidas ou não geradas a curto e médio prazo, deixando de contribuir para as mudanças climáticas (BRASIL-ALEMANHA, 2017).

Desta forma, ações voltadas para a melhoria no gerenciamento dos resíduos sólidos se mostram como uma das opções viáveis para o enfrentamento das mudanças climáticas, sendo os municípios e os munícipes grandes atores nessa jornada.

4 METODOLOGIA

4.1 SELEÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Conforme apresentado anteriormente, os resíduos sólidos podem ser classificados quanto a sua origem e quanto a sua periculosidade. Sendo que em relação a sua origem existem 11 classificações possíveis.

Para este estudo foram selecionados os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), os quais são compostos pelos resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana, conforme destacado na Figura 4.1.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base na PNRS.

Figura 4.1. – Resíduos sólidos considerados no estudo, classificados em relação à origem

Para o propósito deste estudo, definiu-se avaliar a parcela referente aos resíduos sólidos urbanos devido ao seu potencial de contribuição para enfrentamento das mudanças climáticas, assim como da viabilidade de se utilizar os dados existentes sobre a geração e gestão desses resíduos para uma análise. Desta forma, sempre que mencionado nesse estudo o termo “resíduos” refere-se aos resíduos sólidos urbanos (RSU), a menos que mencionado o contrário.

4.2 ESTUDO DE CASO

Este estudo contempla uma análise das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) resultantes do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

O intuito desse estudo é conhecer a contribuição das emissões geradas em cada etapa da rota percorrida pelos resíduos sólidos urbanos, de forma a identificar os pontos de emissão críticos, bem como permitir um melhor entendimento das emissões de GEE ao longo da cadeia de gerenciamento dos resíduos no nível municipal.

Para avaliar as emissões de GEE atreladas ao gerenciamento dos resíduos sólidos, foi adotado como estudo de caso o município de São Bernardo do Campo/SP, um município com área de 409 km² e mais de 800 mil habitantes, segundo estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), e um dos 39 municípios que compõem a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A escolha desse município foi baseada no porte populacional, considerado grande, mas que ainda não supera os 1 milhão de habitantes. Isso influencia na questão de infraestrutura e facilita a capacidade de articulação e implementação de ações voltadas ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

Para a seleção do município foi delimitado o recorte do Estado de São Paulo e municípios que tivessem população na faixa de 500 mil habitantes a 1 milhão de habitantes. Os municípios que atenderam esse critério são apresentados na Tabela 4.1, conforme projeção da população para o ano de 2018 realizada pelo IBGE.

Tabela 4.1. – Municípios no Estado de São Paulo com população entre 500 mil e 1 milhão de habitantes

Município	População (habitantes)
São Bernardo do Campo	833.240
Santo André	716.109
São José dos Campos	713.943
Osasco	696.850
Ribeirão Preto	694.534
Sorocaba	671.186

Fonte: IBGE (2019)

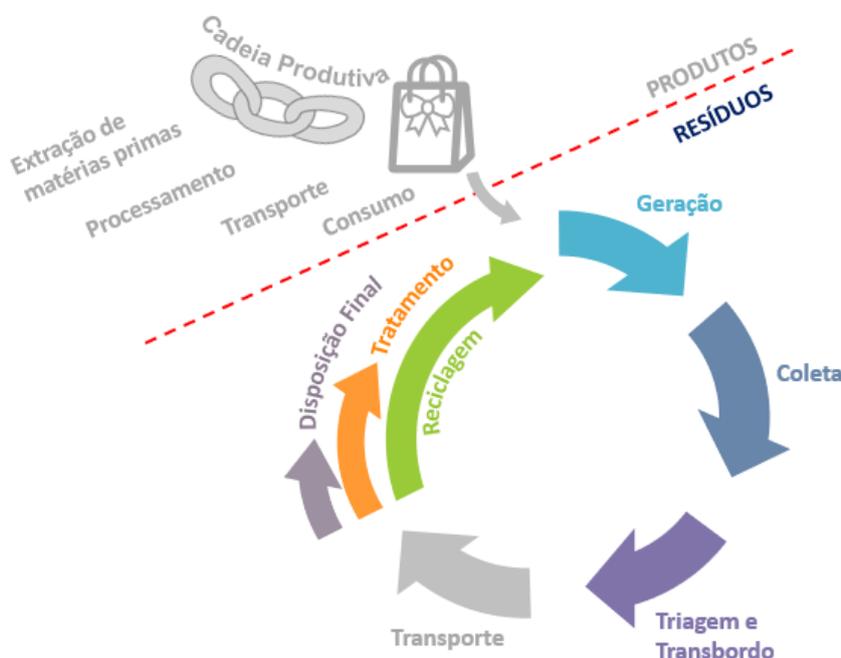
Dentre os municípios apresentados na Tabela 4.1, foi selecionado o com maior população, que neste caso foi o município de São Bernardo do Campo.

A viabilização da escolha do Município de São Bernardo do Campo como estudo de caso foi possível devido a verificação de existência de seu Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, disponibilizados na página eletrônica da SIMA.

4.3 FRONTEIRAS DE CONTABILIZAÇÃO

As fronteiras de contabilização são definidas a partir da delimitação das etapas a serem consideradas para a quantificação das emissões de GEE da atividade/processo em questão.

A Figura 4.2 ilustra um fluxo simplificado das etapas de fabricação dos produtos e do gerenciamento dos resíduos sólidos.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base na PNRS e Brasil-Alemanha (2017).

Figura 4.2. – Fluxo dos resíduos sólidos

Apesar dos produtos (etapa antes de se tornarem resíduos) já apresentar uma carga de emissões de GEE atrelada a sua cadeia produtiva, esta não será contemplada

neste estudo. Ou seja, para os fins deste estudo, a contabilização das emissões do gerenciamento dos resíduos tem início na disponibilização dos resíduos ao serviço de coleta municipal.

Cabe destacar que, de acordo com a PNRS, a disposição final ambientalmente adequada é considerada para os rejeitos. A diferenciação entre rejeitos e resíduos também é dada pela PNRS, sendo os rejeitos definidos como:

“resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010)

Entretanto, atualmente, sabe-se que o gerenciamento dos resíduos ainda não alcançou o nível desejado pela PNRS, e que a prática comum nos municípios ainda é a disposição final de resíduos em aterros, sejam eles controlados ou sanitários, ou ainda em lixões. Portanto, no fluxo apresentado na Figura 4.2, a disposição final em aterros sanitários foi mapeada como uma das opções da etapa final dos resíduos.

Logo, a fronteira de contabilização definida para este estudo refere-se ao recorte a partir da disponibilização dos resíduos pelos munícipes à prefeitura até o tratamento e a disposição final. Para se evitar uma dupla contagem das emissões da reciclagem dos resíduos, essa etapa não foi contemplada neste estudo.

O transporte dos resíduos é contabilizado em duas etapas: i) a etapa de coleta: que contempla a coleta dos resíduos porta-a-porta no gerador (município) e o transporte até a unidade de transbordo por meio de caminhões compactadores; ii) a etapa de transporte: que considera o transporte dos resíduos da unidade de transbordo até a unidade de destinação dos resíduos (aterro sanitário, compostagem, reciclagem, incineração, entre outros).

Adicionalmente, a fronteira de contabilização nesse caso é atemporal, ou seja, não depende de quando as emissões ocorreram ou se ainda vão ocorrer.

A unidade funcional adotada, ou seja, aquela utilizada para comparação das emissões de GEE do atual gerenciamento dos resíduos sólidos do município de São Bernardo do Campo e do futuro cenário de gerenciamento é definida como uma tonelada de

resíduo sólido urbano quando da sua disposição final, ou ao final de seu ciclo dentro das fronteiras do gerenciamento dos resíduos delimitadas neste estudo.

4.4 CÁLCULO DAS EMISSÕES

A metodologia adotada nesse estudo está baseada nas diretrizes de contabilização do GHG Protocol (200-?), para inventários, e o PAS 2050:2011 (BSI, 2011), para pegada de carbono, e na metodologia de cálculo do IPCC (2006).

A seguir apresenta-se como estas diretrizes foram aplicadas para cada etapa de contabilização.

4.4.1 Gases Inventariados

Com base nas características do processo de interesse para este estudo, os gases de efeito estufa (GEE) inventariados são:

- Dióxido de carbono (CO₂);
- Metano (CH₄); e
- Óxido Nitroso (N₂O).

4.4.2 Energia

a) COMBUSTÃO MÓVEL

A queima de combustíveis, sejam fósseis ou de biomassa, implica em liberação de GEE como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) para a atmosfera, assim como na emissão de poluentes locais que contribuem com a poluição do ar (IPCC, 2006).

De acordo com o IPCC (2006) as emissões provenientes da queima de combustíveis podem ser estimadas de duas maneiras:

- a abordagem “*top-down*”, que quantifica as emissões de GEE com base no consumo total de combustíveis, sem diferenciação de sua utilização; e
- a abordagem “*bottom-up*”, cuja contabilização das emissões de GEE é realizada de acordo com o segmento de consumo energético dos combustíveis, considerando características específicas do uso.

Neste estudo foi adotada a abordagem “*bottom-up*” para a quantificação das emissões relacionadas à queima de combustíveis em fontes móveis, que se referem as diferentes modalidades de transporte. Neste caso, aplica-se às etapas de coleta dos resíduos sólidos urbanos, transporte até o destino final e disposição final dos resíduos nos aterros.

Para as fontes móveis, o IPCC (2006) apresenta duas formas para calcular as emissões de GEE: a primeira com base no consumo de combustível, e a segunda a partir da distância percorrida. Sendo, geralmente, a primeira abordagem mais recomendada para estimar as emissões de CO₂ e a segunda, para as emissões de CH₄ e N₂O.

Neste estudo as emissões de GEE do transporte e movimentação dos resíduos foram quantificadas aplicando-se o *Tier 1* (com base no consumo de combustível), utilizando-se fatores padrão do IPCC (2006). A quantificação das emissões de GEE foram realizadas conforme (Equação 4.1, adaptada de IPCC (2006)).

$$E_{GEE} = \sum_C (Cons_C \cdot FE_C \cdot PCI_C \cdot Conv) \quad \text{(Equação 4.1.)}$$

onde

E_{GEE}	Emissão de GEE do tipo i	[tGEE _i]
Cons	Consumo de combustível	[litros]
FE	Fator de emissão	[tGEE _i /TJ]
PCI	Poder Calorífico Inferior	[kcal/m ³]
Conv	Conversão de kcal para TJ	[TJ/kcal]
c	Tipo de combustível	

b) ELETRICIDADE

A eletricidade consumida nas atividades relacionadas ao gerenciamento dos resíduos também possui uma emissão de GEE durante a geração dessa eletricidade (IPCC, 2006 e GHG PROTOCOL, [200-?]).

A contabilização das emissões liberadas na geração da eletricidade consumida é considerada conforme (Equação 4.2 (GHG PROTOCOL, [200-?])).

$$E_{GEE} = \sum_F (Cons \cdot FE) \quad \text{(Equação 4.2.)}$$

onde

E_{GEE}	Emissão de GEE	[tCO ₂]
Cons	Consumo de eletricidade	[MWh]
FE	Fator de emissão	[tCO ₂ /MWh]
F	Fontes	

4.4.3 Destinação dos Resíduos

As emissões relacionadas à destinação dos resíduos sólidos dependem do tipo de tratamento dado ao resíduo. Desta forma, são apresentadas a seguir as metodologias de cálculo para as emissões de GEE provenientes da compostagem, da incineração e da disposição final em aterros sanitários.

a) TRATAMENTO BIOLÓGICO

Como tratamento biológico dos resíduos previsto no estudo de caso tem-se a biodigestão e a compostagem, aplicadas em série. Para esse tipo de tratamento, considera-se a emissão de metano (CH₄) e de óxido nitroso (N₂O). As emissões de dióxido de carbono (CO₂) geradas são de origem biogênica, pois são geradas pela decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, não devendo ser contabilizadas como GEE (IPCC, 2006).

A contabilização das emissões de CH₄ do processo de compostagem é realizada conforme (Equação 4.3 (IPCC, 2006)).

$$E_{CH_4} = (M * FE * 10^{-3}) - R \quad \text{(Equação 4.3.)}$$

onde

E_{CH_4}	Emissão de CH ₄	[tCH ₄]
M	Massa de resíduos orgânicos tratados	[t de resíduo]
FE	Fator de emissão	[kgCH ₄ /t de resíduo]
R	CH ₄ recuperado	[kgCH ₄]

As emissões de N₂O da compostagem é obtida através da (Equação 4.4 (IPCC, 2006).

$$E_{N_2O} = M * FE * 10^{-3} \quad \text{(Equação 4.4.)}$$

onde

E_{N_2O}	Emissão de N ₂ O	[tN ₂ O]
M	Massa de resíduos orgânicos tratados	[t de resíduo]
FE	Fator de emissão	[kgN ₂ O/t de resíduo]

b) INCINERAÇÃO

Para a incineração de resíduos, assim como o princípio dos biocombustíveis, as emissões de CO₂ da parcela orgânica não é considerada como GEE. Apenas a emissão de CO₂ de origem fóssil deve ser contabilizada como GEE. As demais emissões, de CH₄ e N₂O, são contabilizadas normalmente sem diferenciação entre fóssil e biogênico (IPCC, 2006).

As emissões de CO₂ são estimadas conforme demonstrado na (Equação 4.5 (IPCC, 2006).

$$E_{CO_2} = M * \sum_x (M\%_x * MS_x * FCF_x * Oxid_x) * \frac{44}{12} \quad \text{(Equação 4.5.)}$$

onde

E_{CO_2}	Emissão de CO ₂	[tCO ₂]
M	Massa de resíduos incinerados	[t de resíduo]
M%	Porcentagem de resíduos do tipo x	[%]
MS	Fração de matéria seca no resíduo tipo x	[%]
FCF	Fração de Carbono Fóssil da matéria seca	[%]
Oxid	Fator de oxidação	[%]
44/12	Fator de conversão de C para CO ₂	[tCO ₂ /tC]
x	Material que compõe os resíduos	

As emissões de CH₄ da incineração dos resíduos são resultantes da queima incompleta dos materiais. Geralmente, as emissões de CH₄ da incineração de resíduos é baixa. Para o cálculo dessas emissões é utilizada a (Equação 4.6, conforme IPCC (2006).

$$E_{CH_4} = M * FE * 10^{-3} \quad \text{(Equação 4.6.)}$$

onde

E_{CH_4}	Emissão de CH ₄	[tCH ₄]
M	Massa de resíduos orgânicos tratados	[t de resíduo]
FE	Fator de emissão	[kgCH ₄ /t de resíduo]

A geração de N₂O ocorrem no processo de combustão durante temperaturas relativamente baixas (entre 500°C e 950°C). Outros fatores que afetam a emissão de N₂O são o tipo de controle de poluição do equipamento, o excesso de ar na combustão, o tipo de resíduo e o conteúdo de nitrogênio no resíduo. As emissões de N₂O são quantificadas aplicando-se a mesma fórmula apresentada para o CH₄ (IPCC, 2006).

c) ATERRO SANITÁRIO

Considera-se que a contribuição dos aterros sanitários para a emissão de GEE ocorre na forma de CH₄. Apesar dos aterros também gerarem CO₂, estas emissões não são consideradas como GEE por serem de origem biogênica (IPCC, 2006).

As emissões de CH₄ da disposição dos resíduos em aterros sanitários ocorrem durante um longo maior, sendo que a emissão nos primeiros anos após a disposição dos resíduos é mais acentuada, reduzindo gradualmente com o passar do tempo conforme a quantidade de carbono orgânico degradável vai sendo consumido pelas bactérias. Dependendo do tipo de resíduo, essa decomposição pode variar de alguns anos para algumas décadas (IPCC,2006).

Desta forma, para quantificar a contribuição das emissões da disposição dos resíduos em aterro sanitário, optou-se por calcular as emissões potenciais desses resíduos ((Equação 4.7).

$$E_{CH_4} = (W * FE * 10^{-3}) - R \quad \text{(Equação 4.7.)}$$

onde

E_{CH_4}	Emissão de CH ₄	[tCH ₄]
W	Massa de RSU disposto no aterro	[t]
FE	Fator de emissão	[kgCH ₄ /t]
10 ⁻³	Conversão de kg para toneladas	
R	Metano recuperado no aterro	[tCH ₄]

4.4.4 Totalização das Emissões de GEE

As emissões de GEE são usualmente reportadas em toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e), sendo calculada pela soma ponderada dos GEE por seus respectivos potenciais de aquecimento global (PAG), conforme apresentado pela (Equação 4.8 (GHG PROTOCOL, 200-?).

$$E_{CO_2e} = \sum_{GEE_x} E_{GEE_x} * PAG_{GEE_x} \quad \text{(Equação 4.8.)}$$

onde

E_{CO_2e}	Emissões de GEE	[tCO ₂ e]
E_{GEE_x}	Emissão do GEE x	[tGEE _x]
PAG	Potencial de Aquecimento Global do GEE x	[tCO ₂ e/tGEE _x]

De acordo com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC, 2014), em sua decisão 24/CP.19, preconiza a utilização dos PAG apresentados pelo IPCC (2007) em seu 4º Relatório de Avaliação (*Fourth Assessment Report – AR4*). Por outro lado, a *British Standards Institution* (BSI, 2011), em seu documento PAS 2050, também apresenta os PAG do AR4 com a ressalva de que deve ser verificada a versão mais recente disponibilizada pelo IPCC.

De forma a permitir a maior comparabilidade dos resultados, optou-se por adotar o PAG do AR4 (IPCC, 2007), conforme UNFCCC, os quais são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2. – Potenciais de Aquecimento Global

GEE	Fórmula Química	PAG (100 anos)
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido Nitroso	N ₂ O	298

Fonte: IPCC (2007)

4.5 FATORES DE EMISSÃO

4.5.1 Energia

a) COMBUSTÃO MÓVEL

Para quantificar as emissões de GEE da combustão móvel foram utilizados os fatores de emissão do IPCC (2006), apresentados em base energética, os quais foram convertidos para a base volumétrica (litros de combustível). Para isto, aplicou-se o poder calorífico inferior (PCI) e a densidade dos combustíveis, apresentados no Balanço Energético Nacional (BEN) ano base 2017 (EPE, 2018).

No Brasil há, ainda, a obrigatoriedade de adição de biodiesel no óleo diesel, conforme Lei 13.033/2014 e suas resoluções do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). A partir de setembro/2019 entrou em vigor a obrigatoriedade de adição de 11% de biodiesel no óleo diesel, em volume, característica que foi considerada para o ajuste do fator de emissão do IPCC (2006) para a realidade brasileira.

Desta forma, a conversão e adaptação dos fatores de emissão do IPCC (2006) para o óleo diesel utilizado no Brasil foi realizada aplicando-se a (Equação 4.9.

$$FE_{GEE} = \frac{(\%B * FE_B * PCI_B * D_B + \%D * FE_D * PCI_D * D_D)}{Conv} \quad \text{(Equação 4.9.)}$$

onde

FE _{GEE}	Fator de emissão para o GEE _x	[kg de GEE _x / L de diesel]
FE _B	Fator de emissão do biodiesel para o GEE _x	[kg de GEE _x / TJ]
%B	Fração de biodiesel no diesel comercializado	[%]
PCI _B	Poder calorífico inferior do biodiesel	[kcal/kg]

D_B	Densidade do biodiesel	[kg/L]
FE_D	Fator de emissão do óleo diesel para o GEE _x	[kg de GEE _x / TJ]
%D	Fração de óleo diesel no diesel comercializado	[%]
PCI_D	Poder calorífico inferior do óleo diesel	[kcal/kg]
D_D	Densidade do óleo diesel	[kg/L]
x	Gás de efeito estufa (CO ₂ , CH ₄ ou N ₂ O)	
Conv	Conversão de TJ para kcal (2,388x10 ⁸)	[kcal/TJ]

Os dados dos combustíveis para a aplicação da (Equação 4.9 são apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. – Dados dos combustíveis

Combustível	% (v/v) no diesel comercializado ¹	PCI ² (kcal/kg)	Densidade ² (kg/L)
Óleo Diesel	89%	10.100	0,84
Biodiesel	11%	9.000	0,88

Fonte: ¹ ANP (2019) e ² EPE (2018)

Os fatores de emissão em base energética apresentados pelo IPCC (2006) estão na Tabela 4.4. Cabe destacar que, para o biodiesel, o IPCC (2006) não define fatores de emissão para fontes móveis. Desta forma, adotou-se para a emissão de CO₂ o fator de emissão de biodiesel para fontes estacionárias e para o CH₄ e N₂O o mesmo fator do óleo diesel para fontes móveis. Ressalta-se ainda que a parcela das emissões de CO₂ referente ao biodiesel são biogênicas e não são contabilizadas no montante de emissões de GEE.

Tabela 4.4. – Fatores de emissão em base energética

Combustível	Fatores de Emissão (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Óleo Diesel	74.100	3,9	3,9
Biodiesel ¹	70.800	3,9	3,9

Fonte: IPCC (2006)

b) ELETRICIDADE

Os fatores de emissão para a eletricidade são aqueles apresentados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI), que disponibiliza os fatores de emissão médios mensais de CO₂ do Sistema Interligado Nacional (SIN), rede brasileira. No presente estudo foi adotado o fator médio anual para o ano de 2018, de 73,98 kgCO₂/MWh (MCTI, 2019).

4.5.2 Destinação dos resíduos

a) TRATAMENTO BIOLÓGICO

Os fatores de emissão adotados para o tratamento biológico dos resíduos foram baseados nos valores *default* do IPCC (2006). Esses valores correspondem ao tratamento por biodigestão e compostagem de resíduos com 25% a 50% de carbono orgânico degradável e 2% de nitrogênio, em base seca, considerando uma umidade de 60%, características representativas para a fração orgânica dos resíduos (restos de alimentos, jardinagem).

No caso do tratamento biológico, conforme já discutido anteriormente, as emissões de CO₂ são de origem biogênica e, portanto, não são contabilizadas no montante de emissões de GEE, sendo contabilizadas as emissões de CH₄ e N₂O.

Como o tratamento biológico considerado no estudo de caso combina as técnicas de biodigestão e compostagem dos resíduos, os fatores de emissão adotados consideram essa característica. De acordo com Kraemer e Gamble (2014), o processo de biodigestão reduz cerca de 2/3 da matéria orgânica. Portanto, assume-se que a entrada da carga orgânica para o processo de compostagem será de 1/3. Desta forma, o fator de emissão do tratamento biológico proposto adota a proporção apresentada na (Equação 4.10

$$FE_{GEE} = FE_{biodig} + \frac{1}{3} * FE_{comp} \quad \text{(Equação 4.10.)}$$

onde

FE_{GEE} Fator de emissão para o GEEx [kg de CO₂ / t de resíduo]

FE _{biodig}	Fator de emissão <i>default</i> do GEE _x da biodigestão	[%]
FE _{comp}	Fator de emissão <i>default</i> do GEE _x da compostagem	[%]
1/3	Proporção de matéria orgânica remanescente	

b) INCINERAÇÃO

Para a emissão de CO₂ provenientes da incineração dos resíduos, considera-se apenas a parcela da emissão relativa ao carbono fóssil existente nos materiais dos resíduos (IPCC, 2006). Desta forma, a obtenção do fator de emissão de CO₂ da incineração dos resíduos se dá conforme (Equação 4.11).

$$FE_{CO_2} = \left(\sum_n \%W_n * DM_n * CF_n \right) * \frac{44}{12} * 10^3 \quad \text{(Equação 4.11.)}$$

onde

FE _{CO₂}	Fator de emissão para de CO ₂	[kg de CO ₂ / t de resíduo]
%W _n	Composição gravimétrica do material <i>n</i> nos RSU	[%]
DM _n	Conteúdo de matéria seca no material <i>n</i>	[%]
CF _n	Carbono fóssil no material <i>n</i>	[tC/t de material]
44/12	Conversão de C para CO ₂	[tCO ₂ /tC]
10 ³	Conversão de t para kg	[kg/t]
<i>n</i>	Tipo de material que compõe os RSU	

Com base na composição gravimétrica dos resíduos do município de São Bernardo do Campo e no conteúdo de carbono na fração seca esperada nesses materiais, foi obtido o fator de emissão de CO₂ pela incineração dos resíduos. A Tabela 4.5 apresenta as informações utilizadas para a determinação deste fator de emissão.

Tabela 4.5. – Conteúdo de carbono fóssil nos materiais

Material	Composição gravimétrica ¹ (%)	Matéria seca em massa ² (%)	Carbono fóssil ² (base seca) (%)
Matéria orgânica (restos de alimentos e jardinagem)	45,7%	40%	0%
Madeira	1,3%	85%	0%
Papel/Papelão	20,4%	90%	0,5%
Plásticos	16,0%	100%	75%
Fraldas descartáveis	4,4%	40%	7%

Material	Composição gravimétrica ¹ (%)	Matéria seca em massa ² (%)	Carbono fóssil ² (base seca) (%)
Material têxtil	5,6%	80%	10%
Metais	3,0%	100%	NA
Vidros	2,0%	100%	NA
Resíduos de Construção Civil	1,4%	90%	3
Resíduos especiais	0,2%	90%	3

Fonte: ¹ São Bernardo do Campo (2010) e ² IPCC (2006)

Os fatores de emissão de CH₄ e N₂O, apresentados a seguir na Tabela 4.7, são valores *default* do IPCC (2006) definido de acordo com o tipo de operação do incinerador. O presente estudo considera o uso de incineradores semi-contínuos por sistema de grelhas (*stoker*).

c) ATERRO

O fator de emissão considerado para os resíduos dispostos em aterros refere-se ao potencial de emissão desses resíduos, ou seja, o que se espera que seja emitido ao longo do processo de decomposição da matéria orgânica existente no resíduo, processo que pode demorar mais de 20 anos (IPCC, 2006).

O cálculo para a obtenção do fator de emissão para os resíduos dispostos em aterro é apresentado na (Equação 4.12, conforme IPCC (2006)).

$$FE_{CH_4} = \left(\sum_n \%W_n * DOC_n \right) * DOCf * MCF * F * (1 - OX) * \frac{16}{12} \quad \text{(Equação 4.12.)}$$

onde

FE _{CH₄}	Fator de emissão de CH ₄	[tCH ₄ /t de resíduo]
%W _n	Composição gravimétrica do material <i>n</i> nos RSU	[%]
DOC _n	Carbono orgânico degradável no material <i>n</i>	[%]
DOCf	Fração do DOC que pode ser decomposto	[adimensional]
MCF	Fator de correção do metano	[adimensional]
F	Fração de metano no gás de aterro	[adimensional]
OX	Fator de oxidação	[adimensional]
16/12	Conversão de C para CH ₄	[tCH ₄ /tC]
<i>n</i>	Tipo de material que compõe os RSU	

Para a obtenção do fator de emissão dos resíduos dispostos em aterro sanitário foi considerada a composição gravimétrica dos RSU do município de São Bernardo do Campo e o conteúdo de carbono orgânico degradável nos materiais observados nos resíduos do município, dados apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. – Conteúdo de carbono orgânico degradável nos materiais

Material	Composição Gravimétrica ¹ (%)	Carbono orgânico degradável ² (base úmida) (%)
Matéria orgânica (restos de alimentos e jardinagem)	45,7%	15%
Madeira	1,3%	43%
Papel/Papelão	20,4%	40%
Plásticos	16,0%	0%
Fraldas descartáveis	4,4%	24%
Material têxtil	5,6%	24%
Metais	3,0%	0%
Vidros	2,0%	0%
Resíduos de Construção Civil	1,4%	0%
Resíduos especiais	0,2%	0%

Fonte: ¹ São Bernardo do Campo (2010) e ² IPCC (2006)

Os demais parâmetros utilizados para a obtenção do fator de emissão são valores *default* recomendados pelo IPCC (2006), conforme descrito a seguir.

O valor para o DOCf, fração do carbono orgânico degradável que pode ser decomposto, é de 0,5. Ou seja, representa a parcela de carbono orgânico que se estima que seja decomposta e liberada nos aterros, indicando que sob condições anaeróbias uma parte do carbono não seja degradado ou que degrade muito lentamente.

O MCF, fator de correção de metano, depende da forma de manejo do aterro, proporcionando condições mais ou menos favoráveis à decomposição anaeróbia.

Para este estudo, assume-se o fator *default* de 1,0 para aterros manejados e anaeróbicos, manejo condizente para aterros sanitários.

A fração de metano no gás de aterro, F , é de aproximadamente 50%, o qual é recomendado como valor *default* pelo IPCC (2006).

O fator de oxidação, OX , reflete a parcela de CH_4 que é oxidada no solo ou em outro material utilizado como cobertura do aterro. Para este estudo adotou-se o valor *default* do IPCC (2006) para aterros cobertos com material oxidante, caso para os aterros cobertos com solo. O valor recomendado pelo IPCC é de 0,1.

4.5.3 Fatores Utilizados

Os fatores de emissão (FE) utilizados neste estudo foram baseados em referências reconhecidas nacional e internacionalmente, conforme descritos anteriormente, sendo apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. – Fatores de emissão adotados no estudo

Fonte	Insumo	Unid.	%Bio	FE CO ₂ (kgCO ₂ / unid.)	FE CO ₂ Bio/ (kgCO ₂ Bio/ unid.)	FE CH ₄ (kgCH ₄ / unid.)	FE N ₂ O (kgN ₂ O / unid.)	Referências
Combustão Móvel - Rodoviário	Diesel B BR	l	11%	2,34	0,28	0,0001	0,00014	IPCC 2006 (V.2; p.3.16,3.21) / BEN 2018
Eletricidade	Eletricidade_BR	MWh		73,98	-	-	-	MCTI 2019
Resíduos	RSU_aterro	t		-	-	53,97	-	IPCC 2006 (V.5; p.2, 14; Table 2.4 / p.3.9)
Resíduos	RSU_biodigestão compostagem	t				2,13	0,08	IPCC 2006 (V.5; p.2, 16; 5.22)
Resíduos	RSU_incineração	t						IPCC 2006 (V.5; p.4.6; Table 4.1)

Fonte: Elaboração própria (2019)

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.1 O GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS NO MUNICÍPIO DE SÃO BERNARDO DO CAMPO

Conforme apresentado anteriormente, o gerenciamento dos resíduos sólidos refere-se a uma combinação de medidas voltadas para a correta destinação dos resíduos.

Para o estudo proposto, faz-se necessário o entendimento do gerenciamento dos resíduos no município selecionado. Desta forma, são apresentados a seguir os cenários de gerenciamento atual e futuro levantados no Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) de São Bernardo do Campo (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2010 e 2015).

5.1.1 Situação Atual

O atual gerenciamento de resíduos sólidos do município de São Bernardo do Campo já sofreu reestruturação com base nos pontos de melhoria identificados no Plano Municipal de Resíduos Sólidos, publicado em 2010. Atualmente conta com um sistema integrado de manejo e gestão de resíduos sólidos, que consiste no conjunto de serviços apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1. – Serviços prestados no atual Sistema Integrado de Manejo e Gestão de Resíduos Sólidos do Município de São Bernardo do Campo

Coleta de Resíduos Sólidos Urbanos	Varição de vias e logradouros públicos
Operação Bota fora	Instalação e manutenção de papeleiras
Roçada, corte de mato e capina	Raspagem e pintura de guias
Limpeza de núcleos e áreas de difícil acesso	Lavagem de vias
Limpeza de bocas de lobo e córregos	Coleta seletiva porta a porta
Ecopontos	Pontos de Entrega Voluntária (PEV)
Centrais de triagem semi automatizadas	Coleta de pontos viciados de resíduos de construção civil (RCC)
Containerização	Operação Feira Limpa

Nota: campo destacado em azul refere-se ao serviço considerado neste estudo.

Fonte: São Bernardo do Campo (2015), SBC limpeza (2019)

O serviço de coleta de resíduos urbanos contempla os resíduos domiciliares; resíduos de feiras livres e varrição de vias; provenientes de estabelecimentos comerciais com geração até 50 kg/dia; e resíduos de construção civil ou demolição, e de limpeza de jardins até 50 kg.

De acordo com o Diagnóstico de Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos mais recente (SNIS, 2019), que apresenta dados referente ao ano de 2017, foram coletadas aproximadamente 256 mil toneladas de resíduos pelo município de São Bernardo do Campo. Os dados trazidos no Diagnóstico são auto declaratórios, enviados pelos municípios ao Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS).

Ainda com base no apresentado pelo SNIS (2019), a taxa de cobertura da coleta de resíduos domiciliares é de 99% em relação à população total do município de São Bernardo do Campo, e o indicador de massa de resíduos (domésticos e de limpeza pública) coletado é de 0,85 kg de resíduos ao dia por habitante atendido.

De acordo com o PMGIRS (2015), o município é dividido em 76 setores de coleta convencional e oito setores de coleta diferenciada (sendo cinco referentes às áreas containerizada e três para o atendimento às feiras livres). A frequência da coleta de resíduos nesses setores é apresentada na Tabela 5.1.

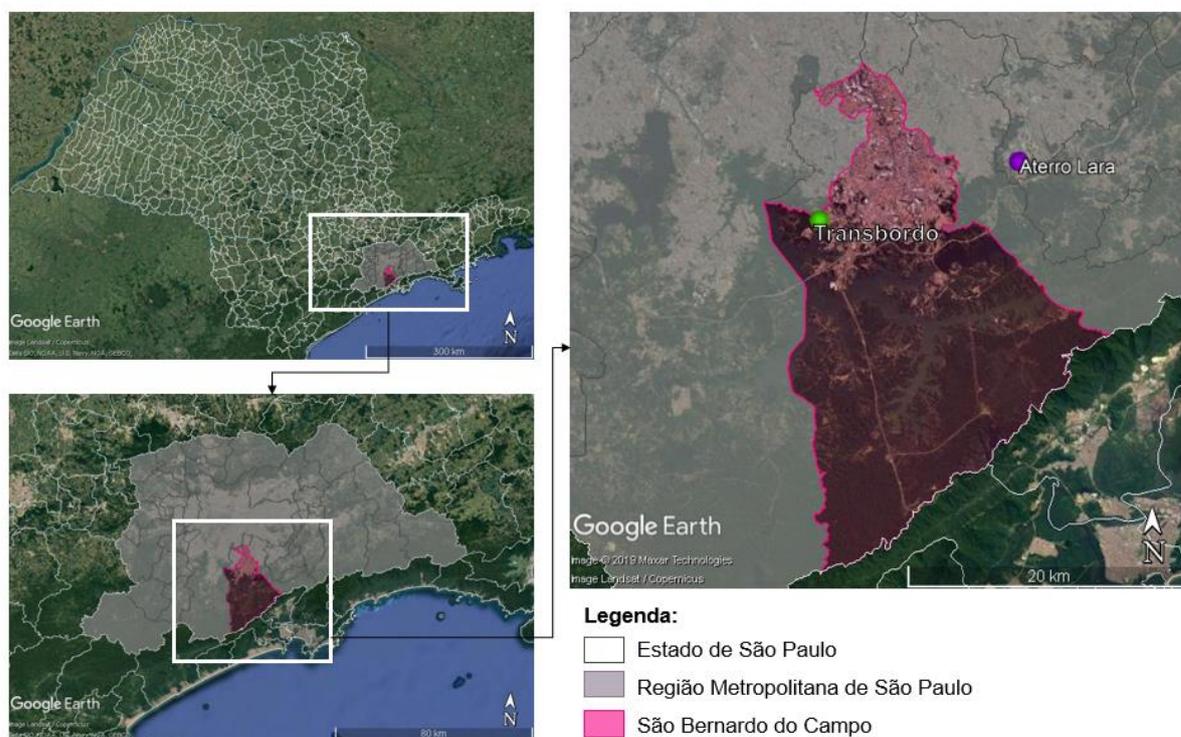
Tabela 5.1. – Frequência dos serviços de coleta dos resíduos sólidos urbanos

Frequência	Dias	Período	Quantidade de setores	
			2010 ⁽¹⁾	2015 ⁽²⁾
Diário	Segunda a Sábado	Diurno	-	4
		Noturno	6	6
Alternado	Segunda, Quarta e Sexta	Diurno	16	18
		Noturno	13	15
	Terça, Quinta e Sábado	Diurno	16	18
		Noturno	13	15
Semanal	Domingo	Noturno	1	8

Fonte: Adaptado de ⁽¹⁾ São Bernardo do Campo (2010) e ⁽²⁾ São Bernardo do Campo (2015)

Nos setores de coleta convencional os resíduos são coletados por caminhões compactadores e levados para a unidade de transbordo, para, então, posteriormente serem transportados por caminhões basculantes para a destinação final.

A Figura 5.1 contextualiza a localização do município de São Bernardo do Campo dentro do território do Estado de São Paulo e apresenta a localização das unidades de transbordo e de destinação final dos resíduos coletados.



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 5.1. – Localização dos pontos de interesse

A unidade de transbordo do município de São Bernardo do Campo está localizada no bairro do Alvarenga, conforme apresentado pelo consórcio Ambiental SBC (2019). A finalidade da unidade de transbordo é receber os resíduos coletados com os caminhões compactadores, onde os resíduos são armazenados temporariamente antes de serem encaminhados para a disposição final, transporte que é realizado em um caminhão de maior capacidade que os caminhões compactadores.

Atualmente os resíduos coletados pelo serviço municipal são encaminhados para a Lara Central de Tratamento de Resíduos Ltda, localizado no município de Mauá. Os resíduos são, então, dispostos em aterro sanitário, sendo o Aterro Lara a unidade de destinação final considerada neste estudo (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015).

O fluxograma esquemático do gerenciamento atual dos resíduos no município de São Bernardo do Campo considerado para o presente estudo é apresentado na Figura 5.2.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base em São Bernardo do Campo (2015)

Figura 5.2. – Fluxograma das etapas do gerenciamento atual

5.1.2 Situação Futura

De acordo com o PMGIRS de São Bernardo do Campo (2015), o município propõe o Sistema de Processamento e Aproveitamento de Resíduos e Unidade de Recuperação de Energia (SPAR-URE), que integra iniciativas de recuperação, reciclagem e aproveitamento energético, indo ao encontro do que preconiza a PNRS.

O PMGIRS indica que o sistema será composto por três unidades de tratamento:

- Triagem e beneficiamento;
- Compostagem; e
- Incineração.

A triagem e beneficiamento dos resíduos aplica-se a parcela reciclável não separada na origem, ou seja, a parcela não captada pelos programas de coleta seletiva, mas que possuem valor para serem reciclados, tendo como objetivo recuperar essa parcela de resíduos recicláveis quando entregues à coleta convencional (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015).

Para a parcela orgânica dos resíduos, o PMGIRS cita apenas a unidade de compostagem. Porém, no “Termo de Referência – Especificações” (SÃO BERNARDO DO CAMPO, ca. 2010) é apresentada uma unidade de biodigestão que antecede à compostagem, para o aproveitamento energético do biogás gerado. Desta forma, entende-se que além da produção do composto também será realizado o aproveitamento do biogás do tratamento da parcela orgânica dos resíduos.

A incineração é prevista para os rejeitos, ou seja, para aqueles resíduos que forem desclassificados pelas outras duas unidades de tratamento dos resíduos da SPAR-URE, sendo prevista também o aproveitamento energético (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015).

De acordo com o PMGIRS, a instalação da SPAR-URE estava prevista para 2016. Porém, verificou-se que até o momento de elaboração deste estudo não há informações sobre a implantação dessa unidade no endereço eletrônico da prefeitura do município de São Bernardo do Campo, tampouco no *site* do consórcio de limpeza urbana de São Bernardo do Campo e outros *sites* de notícias locais, sendo, portanto, considerada ainda como cenário futuro de destinação dos resíduos do município de São Bernardo do Campo.

De acordo com as notícias publicadas no site da prefeitura de São Bernardo do Campo, a SPAR-URE será instalada no bairro do Alvarenga, na área do antigo lixão de São Bernardo do Campo, após a remediação da área (PREFEITURA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2013).

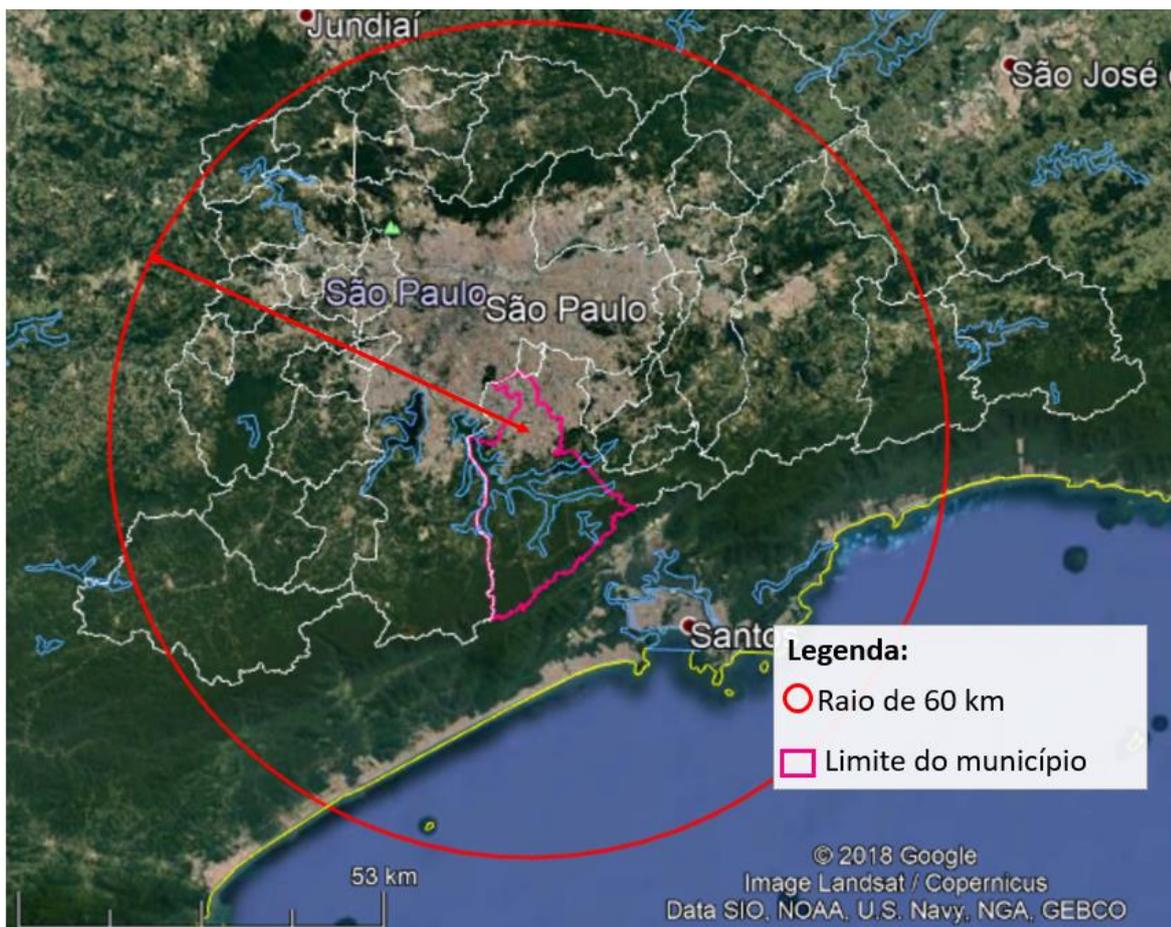
Considera-se também o atendimento à meta de reciclagem proposta no Plano Municipal de Resíduos Sólidos de 10% da massa total gerada, essa meta estava prevista para o atendimento até 2016 (SÃO BERNARDO DO CAMPO, ca. 2010). Porém, não foi possível constatar o atendimento ou a falta dele com os dados disponíveis publicamente. Desta forma, adota-se essa meta como um cenário futuro que ainda se almeja ser alcançado.

Mesmo com a implantação da SPAR-URE ainda é prevista a destinação de até 40% dos resíduos coletados para a aterros sanitários (SÃO BERNARDO DO CAMPO, ca. 2010). Visando essa necessidade, o PMGIRS de São Bernardo traz ainda um estudo de viabilidade locacional de novas unidades de disposição final dos resíduos, considerando a área dos municípios pertencentes à RMSP (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015).

O estudo de viabilidade classifica o potencial dos municípios da RMSP como de muito baixa a nula para receber um empreendimento dessa natureza devido às características desses municípios, tendo sido avaliadas as características de densidade demográfica, restrições relativas aos sites aeroportuários, área disponível

que viabilize uma vida útil de pelo menos 10 anos, áreas de proteção de mananciais e unidades de conservação, relevo, geologia e hidrografia (SÃO BERNARDO DO CAMPO, 2015).

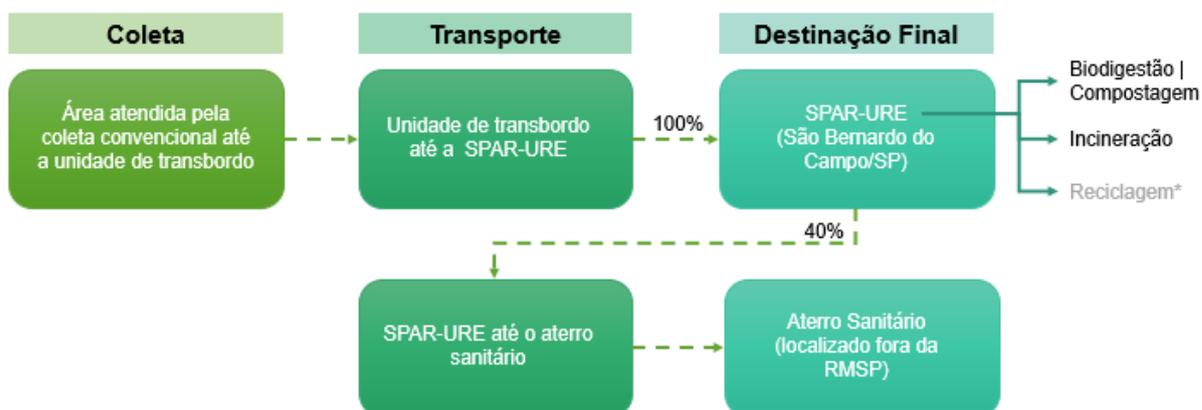
Desta forma, o futuro aterro sanitário provavelmente não poderá ser instalado dentro da RMSP, o que implica em um raio de pelo menos 60 km do município de São Bernardo do Campo, conforme ilustrado pela Figura 5.3.



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 5.3. – RMSP e áreas potenciais para a instalação de um futuro aterro sanitário

O fluxograma do modelo futuro de gerenciamento dos resíduos no município de São Bernardo do Campo considerado para o presente estudo é apresentado na Figura 5.4.



* Reciclagem não faz parte do escopo de contabilização deste estudo

Fonte: Elaboração própria (2019), com base em São Bernardo do Campo (2015)

Figura 5.4. – Fluxograma das etapas do gerenciamento futuro

5.2 PREMISSAS ADOTADAS

5.2.1 Composição Gravimétrica

A importância da composição gravimétrica para este estudo deve-se à contabilização das emissões de GEE na etapa final do gerenciamento, de acordo com a destinação dada aos resíduos.

O dado mais recente sobre a composição gravimétrica dos resíduos do município de São Bernardo do Campo é o apresentado em seu Plano Municipal de Resíduos Sólidos do Município de São Bernardo (2010), o qual apresenta a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares, os resultados dessa análise estão detalhados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. – Composição gravimétrica dos resíduos

Material	Composição Gravimétrica * (%)
Matéria orgânica (restos de alimentos e jardinagem)	45,7%
Madeira	1,3%
Papel/Papelão	20,4%
Plásticos	16,0%
Fraldas descartáveis	4,4%
Material têxtil	5,6%

Material	Composição Gravimétrica * (%)
Metais	3,0%
Vidros	2,0%
Resíduos de Construção Civil	1,4%
Resíduos especiais **	0,2%

Fonte: São Bernardo do Campo (2010).

* Composição gravimétrica corrigida para o somatório totalizar 100%.

** De acordo com o disponibilizado no site da prefeitura de São Bernardo do Campo, são considerados como resíduos especiais as lâmpadas fluorescentes, equipamentos eletroeletrônicos, óleo de cozinha usado e resíduos volumosos.

A composição gravimétrica é apresentada como sendo dos resíduos sólidos domiciliares, porém, conforme visto anteriormente, o serviço de coleta dos resíduos sólidos urbanos em São Bernardo do Campo contempla uma parcela de outros resíduos além dos domiciliares. Desta forma, assume-se a premissa de que os demais resíduos coletados conjuntamente aos domiciliares possuem essa mesma composição gravimétrica.

Além disso, atualmente a prefeitura disponibiliza aos munícipes os programas de coleta seletiva nas modalidades porta a porta (PP) e pontos de entrega voluntária (PEV). Esses programas certamente desviam uma porção de resíduos recicláveis da coleta convencional. Porém, devido a indisponibilidade de dados mais recentes assume-se que a composição dos resíduos permanece a mesma da constatada em 2010.

Cabe destacar que essa composição gravimétrica foi mantida para os dois cenários avaliados, atual e futuro.

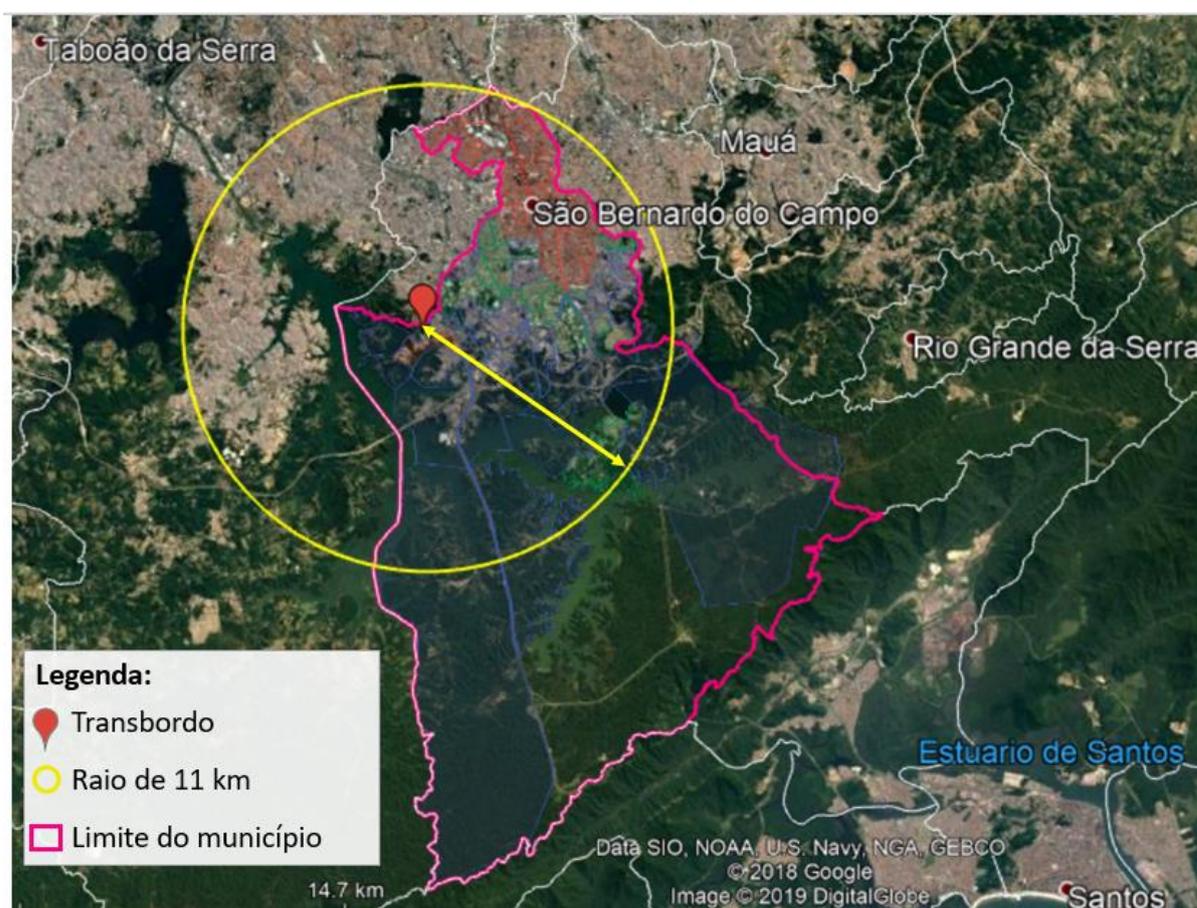
5.2.2 Caminhões Compactadores

De acordo com o PMGIRS (2015), são utilizados 21 caminhões compactadores com capacidade de 19 m³ nos serviços de coleta de resíduos urbanos para as áreas de coleta manual. Para a coleta mecanizada são empregados dois “compacteiners” (ou prensa estacionária) de 17m³ com seu respectivo caminhão *roll-on/roll-off* e um caminhão compactador com capacidade de 6m³ ou 18m³ que disponha de sistema automatizado para içamento e basculamento dos containers.

De acordo com o Plano Municipal dos Resíduos Sólidos do Município de São Bernardo (2010), cada setor de coleta possui aproximadamente de 24 km de vias e geração de 18 toneladas de resíduos.

Para quantificar a quilometragem percorrida para atender um setor de coleta adotou-se o modelo heurístico (IBAM, 2001). Assumindo-se que os quarteirões são quadrados perfeitos, a depender da quantidade e disposição dos quarteirões em cada setor de coleta, verificou-se uma variação entre 1,07 e 1,45, o que implica em um fator de percurso médio de 1,25 vezes a extensão das vias. Desta forma, estima-se que para percorrer todas as ruas do setor de coleta, o caminhão compactador rode 30 km.

Após coletar os resíduos daquele setor os caminhões compactadores seguem para a unidade de transbordo, localizada no bairro do Alvarenga. A Figura 5.5 apresenta a localização da unidade de transbordo, bem como identifica o raio em que a maior parte da malha urbana de atuação do consórcio está inserida.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base em Ambiental SBC (2019).

Figura 5.5. – Identificação da área de atuação do consórcio e localização da unidade de transbordo

Observa-se que as áreas densamente urbanizadas do município de São Bernardo do Campo encontram-se dentro de um raio de 11 km, distância máxima em linha reta entre o setor de coleta e a unidade de transbordo. Desta forma, assume-se como uma média para o transporte até a unidade de transbordo a metade do raio para o cálculo da distância percorrida pelo caminhão compactador até a unidade de transbordo.

De maneira similar à lógica aplicada para determinar a quilometragem percorrida na coleta dos resíduos, assume-se que os quarteirões são quadrados perfeitos, que a distância em linha reta (metade do raio ilustrado na Figura 5.5) equivale à hipotenusa de um triângulo retângulo, e que as vias a serem percorridas são os catetos desse triângulo. Portanto, pode se aplicar o teorema de Pitágoras, resultando em um fator de percurso de 1,4 vezes a distância em linha reta. Logo, calcula-se que o trajeto percorrido para chegar à unidade de transbordo seja de aproximadamente 7 km.

Para o atendimento de um dia de um setor de coleta no município de São Bernardo do Campo, estima-se que os caminhões compactadores percorrem 30 km dentro do setor, e mais 14 km para ir e voltar da unidade de transbordo. Totalizando 44 km percorridos para a coleta de 18 toneladas de resíduos urbanos.

Para se estimar o consumo de diesel desses veículos foi necessário obter a autonomia desses caminhões. De acordo com consultas realizadas ao fabricante dos caminhões compactadores, a autonomia desses veículos é de 1,0 a 1,5 km/L (USIMECA, 2019). De forma conservadora, adota-se como autonomia para o estudo 1,0 km/L.

Obtêm-se, então, um consumo de aproximadamente 44 litros de diesel para realizar a coleta dos resíduos de um setor.

Assume-se para este estudo que a quantidade de resíduos coletadas em cada setor, bem como o consumo de combustível para essa coleta, serão os mesmos para o cenário atual e futuro.

5.2.3 Caminhão Basculante

Para o transporte dos resíduos coletados entre a unidade de transbordo e a unidade de destinação é realizada por caminhões de maior capacidade. Geralmente caminhões basculantes.

Neste estudo considera-se que este transporte é realizado por caminhões com capacidade de transportar 32 toneladas. A autonomia para esse tipo de veículo foi adotada do Inventário de Emissões Veiculares do Estado de São Paulo (CETESB, 2018). O documento apresenta uma autonomia para veículos novos de 3,4 km/L, sendo considerado como base veículo fabricado no ano de 2010.

Para o cenário atual, a distância entre a unidade de transbordo e a unidade de disposição dos resíduos (aterro Lara, em Mauá/SP) é de 58 km, considerando ida e volta do caminhão, com base no trajeto calculado pelo *google maps*.

Para o cenário futuro, o transporte dos resíduos é considerado em duas etapas, a primeira considera uma distância de 14 km para transporte dos resíduos até o SPAR-URE e uma segunda etapa para o envio dos resíduos para um novo aterro sanitário. Como não há uma definição do local a ser instalado o futuro aterro sanitário, apenas a apresentação de inviabilidade de implantação dentro da RMSP, assume-se uma distância mínima de 60 km em linha reta (Figura 5.3). Aplicando-se o fator de percurso de 1,4 obtêm-se a distância percorrida estimada para uma perna deste transporte, sendo que para o trajeto de ida e volta do caminhão têm-se uma distância total de 168 km.

5.2.4 Fluxo de Destinação dos Resíduos

As premissas adotadas para a definição do fluxo de destinação dos resíduos coletados no município de São Bernardo do Campo são apresentadas a seguir para os cenários atual e futuro.

Sabe-se que parte dos resíduos gerados e disponibilizados pelo munícipe ao sistema de coleta municipal são resíduos recicláveis. Porém, estes não estão sendo considerados neste estudo por serem coletados separadamente através dos programas de coleta seletiva do município. Desta forma, assume-se que todo o resíduo coletado por meio da coleta convencional é atualmente encaminhado para o aterro sanitário, conforme representado no diagrama da Figura 5.6.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base em São Bernardo do Campo (2015)

Figura 5.6. – Diagrama do atual fluxo de destinação dos resíduos

No cenário futuro esperado para o município de São Bernardo do Campo são previstas outras formas de destinação dos resíduos que não apenas o aterro sanitário, podendo a parcela orgânica dos resíduos ser enviada para compostagem, a parcela reciclável para centrais de reciclagem e os rejeitos para o incinerador e/ou aterro sanitário.

Com base nas futuras possibilidades de destinação e com base na composição gravimétrica dos resíduos adotada neste estudo, considerou-se uma proporção dos resíduos a serem encaminhados para cada destinação.

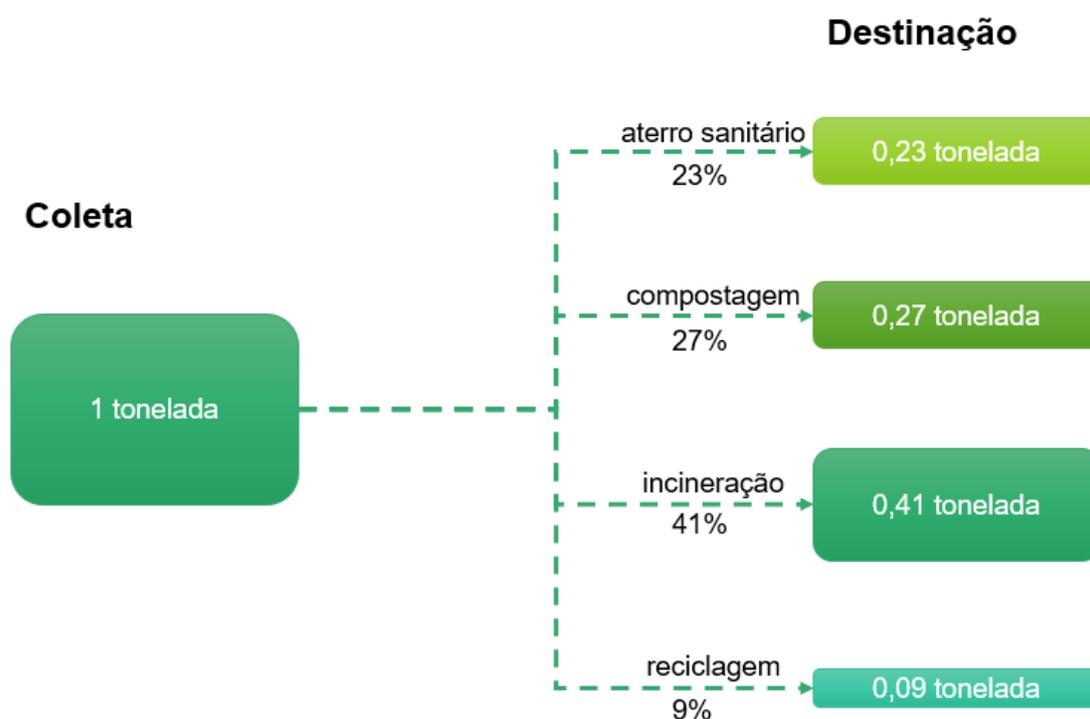
Para compostagem considerou-se que cerca de 60% da parcela orgânica disponível nos resíduos (45,7% do total coletado é orgânico) será tratada por meio da compostagem, o que corresponde a 27% dos resíduos coletados.

Para a reciclagem do material adota-se uma taxa de aproveitamento de 20% dos materiais recicláveis disponíveis (44,1% do total coletado) nos resíduos sólidos urbanos coletados pelo serviço de coleta convencional, representando 9% da massa de resíduo coletado. Ressalta-se que para a contabilização das emissões de GEE a parcela enviada para reciclagem não é considerada de forma a evitar dupla contagem nas emissões.

Do restante dos resíduos, considera-se que aqueles com teores mais baixo de umidade serão incinerados, isto inclui os materiais recicláveis não passíveis de reciclagem e demais resíduos secos (plásticos, papéis, madeira, metais, vidros, têxtil, resíduos de construção civil, resíduos especiais). Isto representa 41% dos resíduos coletados.

Da parcela de resíduos úmidos (com até 40% de matéria seca – ver Tabela 4.5) restantes, considera-se ainda o envio para aterro sanitário, o que representaria 23% dos resíduos coletados.

A Figura 5.7 apresenta o fluxograma simplificado da destinação dos resíduos do modelo futuro de gerenciamento dos resíduos sólidos do município de São Bernardo do Campo.



Fonte: Elaboração própria (2019), com base em São Bernardo do Campo (2015) e (ca. 2010)

Figura 5.7. – Diagrama do futuro fluxo de destinação dos resíduos

5.2.5 Operação das Unidades de Destinação dos Resíduos

Para a etapa de destinação dos resíduos, além das emissões do tratamento propriamente dito, foram consideradas as emissões das atividades que suportam a operação das unidades de destinação dos resíduos, como a eletricidade e diesel nos maquinários.

Após pesquisa realizada e avaliação das informações encontradas, optou-se por não contabilizar as emissões de GEE da eletricidade consumida devido ao baixo consumo de eletricidade, atrelado, ainda, aos baixos fatores de emissão da rede brasileira.

O consumo de diesel pelos maquinários para compactação dos resíduos dispostos no aterro e cobertura dos resíduos foi obtida com base no levantamento de literatura disponível. Como não foi identificadas informações específicas para o aterro Lara, adotou-se os consumos apresentados para o aterro São João, antigo aterro do município de São Paulo.

De acordo com Silva (2011), o aterro sanitário São João encerrou suas operações de recebimento de resíduos em 2009. Apresenta ainda que o consumo de diesel para a operação do aterro no ano de 2009-2010 foi de 97.300 litros de diesel e que a massa de resíduos recebida em 2009 foi de cerca de 295 mil toneladas.

Desta forma, assume-se para o presente estudo uma taxa de 0,33 litros de diesel consumido na operação do aterro sanitário para disposição de uma tonelada de resíduo.

Em relação à captura de biogás de aterro e aproveitamento energético do mesmo, não foi possível constatar informações sobre a adoção dessas práticas pelo aterro Lara. Portanto, para este estudo assume-se não haver qualquer tipo de recuperação do biogás.

6 ESTIMATIVA DAS EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA

6.1 INTENSIDADE DE EMISSÃO

6.1.1 Cenário Atual

As emissões de GEE do modelo de gerenciamento dos resíduos do município de São Bernardo do Campo foi estimada e apresentada neste capítulo para o cenário atual, apresentado as etapas mais intensas em carbono (Tabela 6.1).

Tabela 6.1. – Emissões de GEE estimadas – modelo atual

Etapa	Fonte	Descrição	Massa de RSU (t)	Emissão de GEE (kgCO ₂ e)
Coleta	Caminhão Compactador	Coleta até transbordo	18	106,57
Transporte	Caminhão Basculante	Transbordo até aterro	32	41,32
Destinação	Trator	Operação do aterro	32	25,56
Destinação	Aterro	Decomposição	32	43.137,60

Fonte: Elaboração própria (2019)

Cada unidade da etapa do gerenciamento trabalha com uma capacidade (em massa) de resíduos. Desta forma, para analisar a contribuição de cada etapa equilibradamente, as emissões de GEE foram divididas por suas respectivas massas de trabalho, obtendo-se o indicador de GEE emitidos no gerenciamento dos resíduos do município de São Bernardo do Campo para uma tonelada de resíduo destinado em aterro sanitário (Tabela 6.2)

Tabela 6.2. – Emissões de GEE para 1 tonelada de RSU destinado em aterro

Etapa	Fonte	Emissão de GEE (kgCO ₂ e / t de resíduo)	(%)
Coleta	Caminhão Compactador	5,92	0,4%
Transporte	Caminhão Basculante	1,29	0,1%
Destinação	Trator	0,80	0,1%
Destinação	Aterro	1.348,05	99,4%
Total		1.356,06	100,0%

Fonte: Elaboração própria (2019)

Verifica-se que a principal contribuição para as emissões de GEE do gerenciamento atual dos RSU é a emissão liberada pelos resíduos durante sua decomposição no aterro.

Cabe ressaltar que como não foi possível confirmar a existência de captura e/ou de reaproveitamento energético no aterro sanitário atualmente utilizado pelo município de São Bernardo do Campo para dispor seus resíduos, optou-se por não considerar qualquer abatimento nas emissões do aterro, conforme recomendações do IPCC (2006) para o caso de não haver comprovação das quantidades recuperadas. Portanto, há um potencial significativo para a redução das emissões da destinação dos resíduos.

Espera-se que, minimamente, existam drenos individuais para a captura do biogás gerado com queima manual nesses drenos, o que possibilitaria uma redução de aproximadamente 20% nas emissões de GEE, conforme estimativa apresentada pelo ICLEI (2009). Desta forma, poderia ser considerada uma emissão de 1.078,44 kgCO₂e/t de resíduo para a etapa de destinação em aterro, o que representaria ainda 99,26% das emissões do gerenciamento dos resíduos.

A etapa de coleta e do transporte dos resíduos correspondem, respectivamente, a 0,4% e 0,1% das emissões.

6.1.2 Cenário Futuro

A estimativa das emissões de GEE do cenário futuro está apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. – Emissões de GEE estimadas – modelo futuro

Etapa	Fonte	Descrição	Massa de RSU (t)	Emissão de GEE (kgCO ₂ e)
Coleta	Caminhão Compactador	Coleta até transbordo	18	106,57
Transporte	Caminhão Basculante	Transbordo até SPAR-URE	32	9,97
Transporte	Caminhão Basculante	SPAR-URE até aterro	32	119,68
Destinação	Trator	Operação do aterro	7,4	5,88
Destinação	Aterro	decomposição	7,4	7.395,05
Destinação	Biodigestão Compostagem	decomposição	8,6	666,78
Destinação	Incineração	Tratamento térmico	13,1	8.304,61

Fonte: Elaboração própria (2019)

Da mesma forma que apresentado no item 6.1.1 para o cenário atual de gerenciamento, a contribuição de cada etapa nas emissões de GEE do modelo futuro de gerenciamento dos resíduos é apresentada na Tabela 6.4 com base na destinação final ambientalmente adequada de uma tonelada de resíduo.

Tabela 6.4. – Emissões de GEE para 1 tonelada de RSU destinada

Etapa	Fonte	Emissão de GEE (kgCO ₂ e / t de resíduo)	(%)
Coleta	Caminhão Compactador	5,92	1,1%
Transporte	Caminhão Basculante	0,31	0,1%
Transporte	Caminhão Basculante	3,74	0,7%
Destinação	Trator	0,18	<0,1%
Destinação	Aterro	231,09	44,3%
Destinação	Biodigestão Compostagem	20,84	4,0%
Destinação	Incineração	259,52	49,8%
Total		521,60	100,0%

Fonte: Elaboração própria (2019)

Para o aterro sanitário futuro assume-se que haverá no mínimo a captura de biogás de aterro por meio de drenos individuais com queima manual, o que contribui para a redução nas emissões de GEE dessa destinação. Ou seja, foi considerado um abatimento de 20% nas emissões de GEE, conforme apresentado por ICLEI (2009) para esse tipo de captura.

A biodigestão integrada com a compostagem dos resíduos e combinada com a recuperação do biogás para aproveitamento energético contribuirá bastante para a redução das emissões de GEE no gerenciamento dos resíduos sólidos do município.

Esse tipo de tratamento biológico também gera quantidades significativas de metano, assim como no caso da disposição dos resíduos em aterros sanitários. Porém, o ganho nas emissões na unidade de biodigestão se deve à captação do biogás gerado e combustão para geração de energia.

A parcela de metano presente no biogás capturado é queimado e resulta, em maior parte, na emissão de CO₂. A parcela de metano destruído, que possui um potencial de aquecimento global convencionado em 25 vezes o potencial de dióxido de carbono, deixa de ser considerado nas emissões de GEE desse tratamento, tampouco sendo reportado na forma de CO₂, que não é contabilizado no montante das emissões de GEE por terem origem biogênica. Portanto, devido ao abatimento na quantidade de metano liberada para a atmosfera, a emissão desse tipo de tratamento é reduzida em comparação ao aterro sanitário.

Ressalta-se ainda que após o processo de biodigestão, os resíduos seguem para a compostagem, que tem como produto o composto para aplicação nas áreas verdes do município e/ou doação e comercialização como fertilizante orgânico. Por ser um tratamento aeróbio, a decomposição da matéria orgânica gera principalmente CO₂ e que por ser proveniente de processos biológicos não deve ser considerado no montante das emissões de GEE, porém há uma emissão reduzida de CH₄ e N₂O, os quais estão contabilizados no presente estudo.

Para a incineração dos resíduos para aproveitamento energético, cabe destacar que apenas a parcela dos materiais contidos no resíduo coletado que for rejeitada de opções como o reaproveitamento ou reciclagem será encaminhada para esse tipo de tratamento, ou seja, o reaproveitamento e a reciclagem do material serão a primeira

opção. Verifica-se ainda que esse tratamento contribui com uma parcela significativa das emissões desse modelo de gerenciamento (49,8%), que deve-se principalmente ao elevado conteúdo de carbono fóssil presente nos materiais incinerados.

Com relação à reciclagem, no cenário atual assume-se que todo o resíduo coletado por meio da coleta convencional é disposto em aterro sanitário, não sendo considerada a reciclagem da parcela reciclável. Ou seja, não há reciclagem dos resíduos não separados na origem.

Os resíduos coletados por meio de programas de coleta seletiva já existentes no município não fazem parte do levantamento proposto. Além disso, as emissões de GEE referentes a etapa de reciclagem não estão contabilizadas neste estudo para evitar a dupla contagem das emissões.

Da mesma forma, as emissões relacionadas à etapa da reciclagem da parcela de resíduos não separada na origem prevista no cenário futuro também não são quantificadas. Ou seja, as emissões provenientes da triagem do material reciclado, transporte do material reciclável separado na SPAR-URE até a recicladora, bem como do processo de reciclagem, não foram contempladas neste estudo conforme delimitação adotada por se tratarem da cadeia de novos produtos (matéria prima do novo ciclo).

6.2 COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES ENTRE AS DIFERENTES DESTINAÇÕES

Para avaliar a contribuição da destinação final ambientalmente adequada adotada nos dois modelos de gerenciamento dos resíduos (atual e futuro) do município de São Bernardo do Campo, neste capítulo foi realizada a comparação das emissões apenas da etapa de destinação dos resíduos.

A contabilização das emissões, da mesma forma que apresentado no item 6.1, é apresentada com base em uma tonelada de resíduo com destinação final ambientalmente adequada. O modelo de gerenciamento atual tem como prática a destinação dos resíduos em aterro sanitário e o modelo futuro é composto por um

conjunto de soluções, sendo os resíduos encaminhados para a reciclagem, biodigestão/compostagem, incineração e aterro sanitário.

As emissões da destinação dos resíduos para esses dois modelos propostos (atual e futuro) são apresentados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5. – Comparativo das emissões de GEE das diferentes destinações dos resíduos

Destinação final	Atual		Futuro	
	Proporção mássica destinada (%) *	Emissão de GEE (kgCO ₂ e)	Proporção mássica destinada (%) *	Emissão de GEE (kgCO ₂ e)
Aterro Sanitário	100%	1.348,05	23%	231,09
Biodigestão Compostagem	-	-	27%	20,84
Incineração	-	-	41%	259,52
Reciclagem	-	-	9%	-
Total	100%	1.348,05	100%	511,45

* Proporção mássica considerada com base em uma tonelada de resíduo para destinação final
Fonte: Elaboração própria (2019)

O modelo futuro de gerenciamento de resíduos proposto pelo município de São Bernardo do Campo apresenta uma redução de aproximadamente 62% nas emissões de GEE devido à mudança na destinação final dos resíduos, passando dos atuais 1.348 kgCO₂e para 511 kgCO₂e para cada tonelada destinada adequadamente.

A incineração dos rejeitos apesar de uma contribuição significativa para as emissões de GEE no cenário futuro, ainda apresenta um ganho quando comparada à alternativa do aterro sanitário sem recuperação de biogás de aterro em relação à massa de resíduo destinada. Cabe destacar que essa análise está sendo realizada apenas no viés dos GEE, não sendo avaliadas as emissões dos poluentes atmosféricos tradicionais que para o incinerador podem ser significativas.

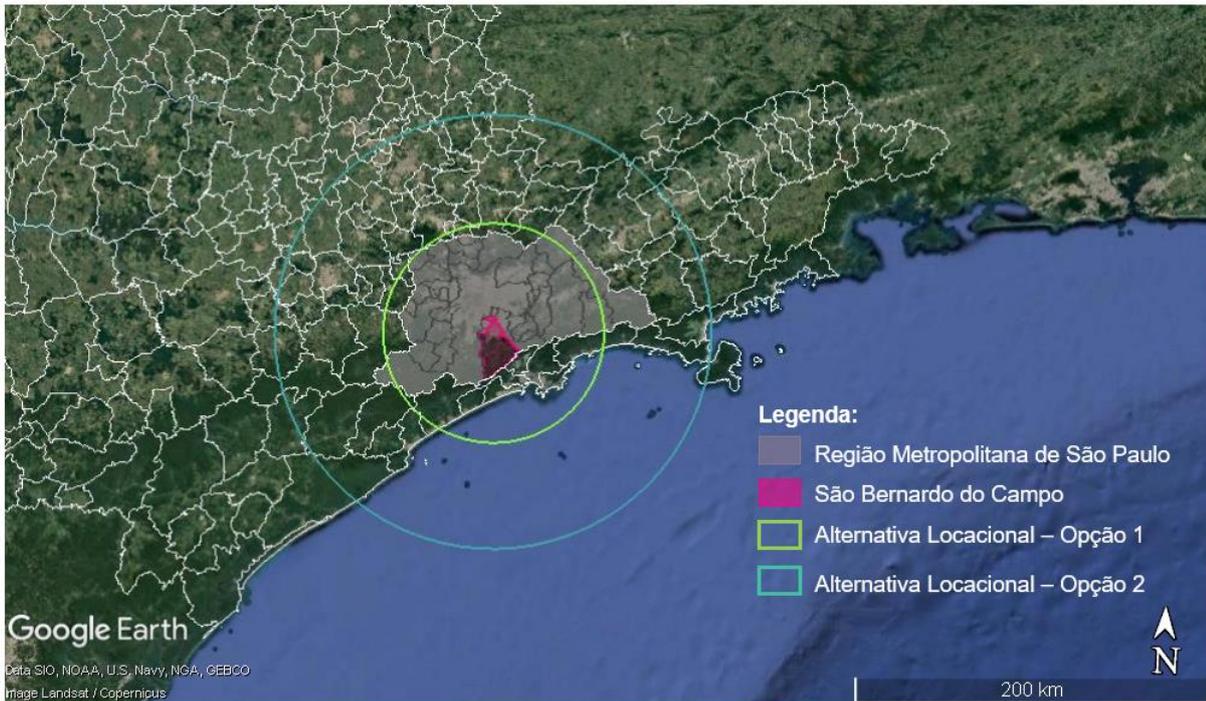
7 IMPACTO LOCACIONAL DAS UNIDADES DE TRATAMENTO PARA AS EMISSÕES DE GEE

Para a avaliação do impacto locacional das unidades de destinação final dos resíduos considerou-se o modelo futuro de gerenciamento dos resíduos.

Para avaliar o impacto nas emissões de GEE em relação à variação na distância a ser percorrida para a disposição dos resíduos, foram simulados diferentes valores para os dados de entrada do transporte por caminhões basculante para o trajeto do transbordo até a SPAR-URE e para os demais parâmetros as condições iniciais foram mantidas.

As distâncias consideradas na simulação foram 14 km, 168 km e 336 km, sendo o aumento nas distâncias percorridas de 1100% e de 2300% em comparação com os 14 km da distância inicialmente propostos.

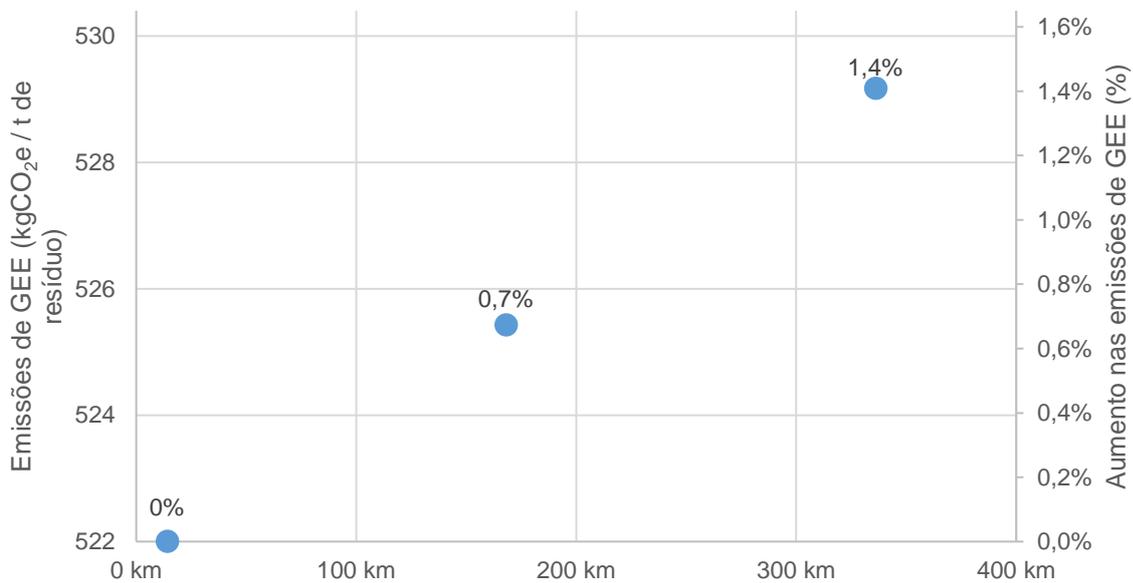
Os 14 km iniciais referem-se a distância no caso de implantação do SPAR-URE no bairro do Alvarenga. A hipótese de 168 km de distância até a unidade de destinação considera a implantação fora da região metropolitana de São Paulo (alternativa locacional – opção 1). A distância seguinte equivale ao dobro da distância fora da região metropolitana (alternativa locacional – opção 2). Os raios de abrangência das alternativas locais propostas estão ilustrados na Figura 7.1.



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 7.1. – Alternativas locais das unidades de tratamento dos resíduos

Os resultados dessa simulação são apresentados na Figura 7.2.



Fonte: Elaboração própria (2019)

Figura 7.2. – Impacto nas emissões de GEE com a variação da distância das unidades de disposição final dos resíduos

O ponto de partida das emissões de GEE inicia em 522 kgCO₂e por tonelada de resíduo destinado. Considerando a opção 1 da alternativa locacional essas emissões alcançam 525 kgCO₂e por tonelada de resíduo, apresentando um aumento de 0,7% nas emissões de GEE do gerenciamento proposto.

Para a opção 2, quando se aumenta 2300% a distância inicial do transporte até a unidade de destinação dos resíduos, as emissões de GEE chegam a 528 kgCO₂e por tonelada de resíduo destinado, que representa um aumento de 1,4% nas emissões.

Portanto, a sensibilidade das emissões do gerenciamento dos resíduos sólidos ao transporte dos resíduos não é significativa, pois resulta em uma variação pouco expressiva nas emissões de GEE.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atual gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de São Bernardo do Campo utiliza-se da coleta convencional de resíduos, por meio da coleta manual e mecanizada, e de programas de coleta seletiva dos resíduos, sendo o principal foco desse estudo a coleta convencional manual dos resíduos. Os resíduos da coleta convencional são encaminhados para o aterro sanitário Lara, localizado em Mauá, município próximo a São Bernardo do Campo.

O modelo futuro de gerenciamento proposto pelo município prevê um melhor aproveitamento dos resíduos, através da reciclagem dos materiais não separados na origem, biodigestão e compostagem dos resíduos orgânicos e incineração dos rejeitos, visando ainda o aproveitamento energético nesses tratamentos. Tendo, ainda, uma parcela reduzida de resíduos dispostos em aterro sanitário.

O modelo proposto é um passo em direção ao que preconiza a PNRS, priorizando a reciclagem dos materiais, aproveitamento energético dos resíduos e, conseqüentemente, redução na quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários.

A avaliação do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de São Bernardo do Campo em relação às emissões de GEE foi realizada considerando as etapas de coleta, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, ou seja, a partir da disponibilização dos resíduos pelo munícipe ao sistema de coleta do município até a destinação dos resíduos.

Para a evolução do estudo foram delimitadas fronteiras de contabilização para o sistema de gerenciamento dos resíduos. Desta forma, não estão contempladas neste estudo as atividades relacionadas à reciclagem (transporte, segregação e tratamento) para evitar a dupla contagem das emissões (resíduo e matéria prima) e a eletricidade pela baixa representatividade no consumo.

Premissas também foram adotadas para viabilizar o estudo, de forma que o refinamento desse estudo pode ser realizado a partir do aprimoramento das premissas ou adoção de dados primários.

Como resultado dessa avaliação, verificou-se que a destinação dos resíduos sólidos é o principal fator nas emissões de GEE do gerenciamento municipal dos resíduos nos dois cenários avaliados (atual e futuro), devendo ser avaliada como uma possível aliada no enfrentamento das mudanças climáticas e contribuição para o atendimento das metas de redução das emissões de GEE.

Ressalta-se ainda que para o modelo atual de gerenciamento dos resíduos do município de São Bernardo do Campo, de forma conservadora, não foi considerada a recuperação de biogás no aterro Lara, pois não foi identificada evidências dessa prática no aterro. Para o aterro do cenário futuro, foi considerada uma recuperação mínima de biogás de 20%. A recuperação do biogás é uma prática importante para redução das emissões de GEE e, ainda, apresenta o benefício do aproveitamento energético, devendo ser considerado como um requisito mínimo nos aterros sanitários futuros.

Neste estudo foi possível verificar também a redução de cerca de 62% nas emissões de GEE quando analisada a opção de melhor aproveitamento dos resíduos, modelo futuro de gerenciamento, que conta com reciclagem dos materiais não separados na origem e compostagem e incineração, com recuperação energética. Neste último caso, é de suma importância alertar que não foram considerados os ganhos em termos da geração energética. Ou seja, há ainda uma contribuição na redução das emissões de GEE relacionada à emissão evitada pela substituição de fonte fóssil na geração de energia, a qual não faz parte da proposta deste estudo.

Cabe ressaltar que o propósito desse estudo é a avaliação do gerenciamento dos resíduos em termos das emissões de GEE, não sendo consideradas as questões relacionadas às emissões de poluentes atmosféricos tradicionais (monóxido de carbono, material particulado, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, etc), tampouco entrando no mérito de outras importantes questões socioambientais (inclusão social dos catadores, saúde da população, veiculação de vetores, áreas contaminadas, qualidade do ar, educação ambiental, entre outros) que também fazem parte da temática dos resíduos sólidos.

Os resultados obtidos contribuem para demonstrar a sinergia entre a PNRS e a PNMC, onde um melhor gerenciamento dos resíduos, com maior

aproveitamento/valorização dos resíduos, leva a uma redução nas emissões de GEE, e vice e versa. Em outras palavras, contribui para o atendimento da PNRS e da PNMC.

A avaliação das alternativas locacionais da unidade de destinação final dos resíduos sólidos em relação ao impacto nas emissões de GEE, verificou-se que a sensibilidade das emissões à variação das distâncias percorridas para a destinação dos resíduos não é representativa a nível de tomada de decisão.

Portanto, a princípio, esforços para reduzir as emissões de GEE do gerenciamento dos resíduos sólidos se concentrados na etapa de destinação dos resíduos proporcionarão resultados de maior efetividade no combate às mudanças climáticas, devendo-se priorizar o aproveitamento dos resíduos sólidos, evitando-se a disposição de resíduos em aterros. De forma que apenas os rejeitos sigam para aterros.

Cabe destacar ainda, que a emissão de GEE pode servir como um dos indicadores para a tomada de decisão na gestão dos resíduos sólidos, devendo ser realizada através de uma avaliação multicritérios, considerando outros aspectos relevantes como em relação à saúde da população, viabilidade técnica de implantação da tecnologia, custos, vida útil dos aterros, entre outros, os quais não foram objeto desse estudo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Notícias: Óleo Diesel passa a conter mínimo de 11% de biodiesel a partir de 1º de setembro de 2019. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/5298-oleo-diesel-passa-a-conter-minimo-de-11-de-biodiesel-a-partir-de-1-de-setembro>>.

Acesso em: 04 outubro 2019.

BRASIL. Decreto Regulamentador nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm>.

Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2008. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.306, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 10 maio 2018.

BRASIL. Lei Federal nº 13.033, de 24 de setembro de 2014. Dispõe sobre a adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel comercializado com o consumidor final; altera as leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 8.723, de 28 de outubro de 1993; revoga

os dispositivos da Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2014/Lei/L13033.htm> Acesso em: 04 outubro 2019.

BRASIL. Ministério de Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil. 4ª ed. Brasília, 2017. Disponível em: <https://sirene.mctic.gov.br/portal/export/sites/sirene/backend/galeria/arquivos/2018/10/11/Estimativas_4ed.pdf>. Acesso em: 04 outubro 2019.

BRASIL. Ministério de Ciências, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Fatores de emissão de CO₂ do Sistema Interligado Nacional do Brasil. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporativos.html>. Acesso em: 04 outubro 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares). Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: 15 maio 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://www.sinir.gov.br/planos-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 12 maio 2019.

BRASIL-ALEMANHA. Cooperação para a Proteção do Clima na Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos: ProteGEEr. RSU e Clima. 2017. Disponível em: <<http://www.protegeer.gov.br/rsu/rsu-e-clima>>. Acesso em 12 maio 2019.

British Standards Institution (BSI). PAS 2050:2011 – *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. 2011. Disponível em: <<http://shop.bsigroup.com/upload/shop/download/pas/pas2050.pdf>>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 17, n. 2, p.171-180, jun. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413->

41522012000200006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v17n2/a06v17n2>>. Acesso em: 08 maio 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Emissões do setor de resíduos sólidos e efluentes líquidos, 1990 a 2008: relatório de referência. São Paulo: 2013. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/wp-content/uploads/sites/34/2014/04/primeiro_inventario_setor_residuos_web.pdf>. Acesso em: 07 dezembro 2019.

CONSÓRCIO AMBIENTAL SBC. Sistema de atendimento ao cliente da limpeza urbana de São Bernardo do Campo. Disponível em: <https://www.sbclimpeza.com.br/>>. Acesso em: 10 abril 2019.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2018: ano base 2017. Rio de Janeiro, 2018 Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018_Int.pdf>. Acesso em: 04 outubro 2019.

GHG PROTOCOL. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. [200-?]. Disponível em: https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/arquivos.gvces.com.br/arquivos_ghg/152/especificacoes_pb_ghg_protocol.pdf>. Acesso em: 18 maio 2019.

GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE (ICLEI-Brasil). Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. São Paulo, 2009. Disponível em: http://www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf>. Acesso em: 19 outubro 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (Ibam). Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 01 de dezembro de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estimativas de População: Ano base 2018. Publicado no TCU, última atualização em 13 de fevereiro de 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas->

novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>.

Acesso em: 09 abril 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Japan, 2006. Disponível em: <<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: 05 maio 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, Estados Unidos, 2007. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>>. Acesso em: 01 maio 2019.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, Gina Rizpah. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos Avançados*, [s.l.], v. 25, n. 71, p.135-158, abr. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142011000100010>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100010>. Acesso em: 10 maio 2018.

KRAMER, T.; GAMBLE, S. Integrating Anaerobic Digestion With Composting. *BioCycle*, [s.l.], v.55, n.10, p.55, nov. 2014. Disponível em: <<https://www.biocycle.net/2014/11/18/integrating-anaerobic-digestion-with-composting/>>. Acesso em: 19 outubro 2019.

LOPES, Adriana Antunes. Estudo da gestão e do gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos no município de São Carlos (SP). 2003. 194f. Tese (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-06062005-163839/en.php>>. Acesso em: 22 maio 2018.

PREFEITURA DE SÃO BERNARDO DO CAMPO. Prefeito apresenta sistema de gestão de lixo de São Bernardo do Campo para São Caetano. 2013. Disponível em: <http://www.saobernardo.sp.gov.br/busca?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_con>.

[tent& 101_returnToFullPageURL=http%3A%2F%2Fwww.saobernardo.sp.gov.br%2Fweb%2Fsbc%2Fbusca%3Fp_auth%3DimdruACs%26p_p_id%3D3%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_state_rcv%3D1& 101_assetEntryId=136133& 101_type=content& 101_urlTitle=prefeito-apresenta-sistema-de-gestao-de-lixo-de-sao-bernardo-para-sao-caetano&inheritRedirect=true](http://www.saobernardo.sp.gov.br/web/sbc/residuos-solidos)>. Acesso em: 08 outubro 2019.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Coordenadoria de Licitações e Materiais. Termo de Referência – Especificações. São Bernardo do Campo, [ca. 2010]. Disponível em: <<https://www.saobernardo.sp.gov.br/web/sbc/residuos-solidos>>. Acesso em: 04 outubro 2019.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Prefeitura Municipal. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Bernardo do Campo. São Bernardo do Campo, 2015. Disponível em: <http://www.saobernardo.sp.gov.br/documents/10181/19965/Plano+de+Gest%C3%A3o+Integrada+de+Res%C3%ADduos+de+S%C3%A3o+Bernardo+do+Campo_p_Revis%C3%A3o+2015.pdf/a951bb84-b5fc-4d62-b65a-aaf3ab99bbb7>. Acesso em: 09 abril 2019.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Prefeitura Municipal. Plano Municipal de Resíduos Sólidos de São Bernardo do Campo. São Bernardo do Campo, 2010. Disponível em: <<https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2017/05/sao-bernardo-do-campo.pdf>>. Acesso em: 09 abril 2019.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. Disponível em: <<http://dobuscadireta.imprensaoficial.com.br/default.aspx?DataPublicacao=20060317&Caderno=DOE-I&NumeroPagina=1>>. Acesso em: 20 maio 2018.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Plano de resíduos sólidos do estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Coordenadoria de Planejamento Ambiental, Cetesb – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: SMA, 2014. 1 arquivo de texto (350 p.): il. color., PDF; 160 MB. Disponível em: <<http://s.ambiente.sp.gov.br/cpla/plano-residuos-solidos-sp-2014.pdf>>. Acesso em: 05 março 2018.

SILVA, G.F. Aterro Sanitário São João: Estudos dos indicadores ambientais em emergia. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia de produção da Universidade Paulista, UNIP, para obtenção do título de mestre em engenharia de produção. São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/dissertations/silva_gf.pdf>.

Acesso em: 06 outubro 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). Climate Change is the Challenge of Our Generation. 2017. Disponível em: <<https://unfccc.int/news/climate-change-is-the-challenge-of-our-generation>>. Acesso em: 18 maio 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). COP 24. 2018. Disponível em: <<https://unfccc.int/event/cop-24>>. Acesso em: 18 maio 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Fact sheet: Climate change science – the status of climate change science today*. 2011. Disponível em: <https://unfccc.int/files/press/backgrounders/application/pdf/press_factsh_science.pdf>. Acesso em: 12 maio 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *Report of the Conference of the Parties on its nineteenth session, held in Warsaw from 11 to 23 November 2013*. 2014. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf>>. Acesso em: 01 dezembro 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *The Kyoto Protocol*. 1998. Disponível em: <<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2019.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). *The Doha Amendment to the Kyoto Protocol*. 2012. Disponível em: <https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/application/pdf/kp_doha_amendment_english.pdf>. Acesso em: 12 maio 2019.